



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΙΜΩΝ Α. ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ
ΤΖΙΒΑΝΙΑΔΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ
ΚΤΙΡΙΟΥ ΓΡΑΦΕΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ TRNSYS»**

ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΣΤΕΡΓΙΟΥ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2007

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	- 4 -
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 5 -
1 Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτηρίων και συστήματα παθητικής ψύξης- 8 -	
1.1 Γενικά.....	- 8 -
1.2 Μικροκλίμα και θερμοχωρητικότητα κτηρίων.....	- 9 -
1.3 Φυσικός αερισμός.....	- 10 -
1.4 Νυκτερινός αερισμός	- 14 -
1.5 Σκίαση και ηλιοπροστασία	- 15 -
2 Περιγραφή του Υπολογιστικού Πακέτου TRNSYS	- 20 -
2.1 Γενικά.....	- 20 -
2.2 Στούντιο προσομοίωσης,	- 21 -
2.2.1 Γενική περιγραφή	- 21 -
2.2.2 Ρύθμιση των επιλεγμένων μοντέλων της προσομοίωσης.....	- 22 -
2.2.3 Συνδέσεις.....	- 22 -
2.2.4 Εκτέλεση προσομοίωσης και ανάγνωση αποτελεσμάτων.....	- 23 -
2.2.5 Ανάλυση σφαλμάτων κατά την προσομοίωση.....	- 24 -
2.3 Γραφικό περιβάλλον εισαγωγής στοιχείων κτηρίου (TRNBuild)	- 25 -
2.3.1 Γενική περιγραφή	- 25 -
2.3.2 Επεξεργασία των στοιχείων του κτηρίου.....	- 25 -
2.3.3 Κεντρικό παράθυρο του προγράμματος TRNBuild.....	- 33 -
2.4 Πρόγραμμα TRNEdit.....	- 36 -
3 Περιγραφή μοντέλων προσομοίωσης.....	- 39 -
3.1 Διαφορικός ελεγκτής - Μοντέλο 2.....	- 39 -
3.2 Οριζόντια και κάθετα εξωτερικά σκίαστρα - Μοντέλο 34.....	- 40 -
3.3 Εκτυπωτής - Μοντέλο 25.....	- 43 -
3.4 Δημιουργία άμεσων διαγραμμάτων (Online Plotter) - Μοντέλο 65.....	- 44 -
3.5 Επεξεργαστής ηλιακής ακτινοβολίας – Μοντέλο 16.....	- 45 -
3.6 Μοντέλο ψυχομετρικού διαγράμματος – Μοντέλο 33	- 54 -
3.7 Αντιπροσωπευτική θερμοκρασία ουρανού – Μοντέλο 69.....	- 55 -

3.8	Ανάγνωση Δεδομένων (Γενικά αρχεία δεδομένων) – Μοντέλο 9	56 -
3.9	Περιοδική ολοκλήρωση – Μοντέλο 55	59 -
3.10	Μοντέλο περιγραφής χρονικά μεταβαλλόμενης λειτουργίας (Μοντέλο 14)-	61 -
3.11	Συνδυασμένο μοντέλο ανάγνωσης μετεωρολογικών δεδομένων και επεξεργασίας της ηλιακής ακτινοβολίας – Μοντέλο 109	62 -
4	Μοντέλο πολυζωνικού κτηρίου.....	65 -
4.1	Γενικά.....	65 -
4.2	Μαθηματικό μοντέλο για τη μεταφορά θερμότητας στο πολυζωνικό κτήριο-	66 -
4.2.1	Περιγραφή μοντέλου	66 -
4.2.2	Ροή θερμότητας στον κόμβο δια συναγωγής	67 -
4.2.3	Ροή θερμότητας στον κόμβο από ακτινοβολία στους τοίχους και τα παράθυρα.-	68 -
4.2.4	Ροή ενέργειας στους τοίχους και τα παράθυρα.....	68 -
4.2.5	Μέθοδος υπολογισμού συντελεστών της συνάρτησης μεταφοράς των Mitalas και Arseneault.....	71 -
4.2.6	Ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος	72 -
4.2.7	Εξωτερικοί Τοίχοι.....	75 -
4.2.8	Τοίχοι με οριακές συνθήκες	76 -
4.2.9	Τοίχοι παρακαίμενοι σε γειτονικές ζώνες, εσωτερικοί και τοίχοι με όμοιες οριακές συνθήκες.....	76 -
4.2.10	Συνολικά κέρδη μιας ζώνης από τις επιφάνειες.....	77 -
4.2.11	Μεταφορά μάζας αέρα από γειτονικές ζώνες	77 -
4.2.12	Διείσδυση αέρα, αερισμός, μεταφορά μάζας μεταξύ γειτονικών ζωνών.	78 -
4.2.13	Ελεύθερα μεταβαλλόμενη θερμοκρασία ζώνης (Χωρίς θέρμανση ή ψύξη) ..	79 -
4.2.14	Απλοποιημένο μοντέλο θέρμανσης και ψύξης	82 -
4.2.15	Το χρονικό βήμα της προσομοίωσης σε σχέση με το χρονικό βήμα των υπολογισμών των τοίχων.	85 -
4.3	Οπτικές και θερμικές ιδιότητες παραθύρων.	87 -
4.3.1	Περιγραφή των παραθύρων.....	87 -
4.3.2	Μοντέλο παραθύρου με ολική ακτινοβολία δύο περιοχών	88 -
4.3.3	Εκπομπή της ηλιακής ακτινοβολίας.....	89 -
4.3.4	Ροή θερμότητας μεταξύ των ενδιάμεσων επιφανειών του παραθύρου	89 -
4.3.5	Απορρόφηση ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος.....	91 -
4.3.6	Επαναληπτική επίλυση για την εύρεση της θερμοκρασίας υαλοπινάκων.....	92 -
4.3.7	Συνολική ροή θερμότητας δια μέσω των υαλοπινάκων.....	92 -

4.3.8	Διόρθωση άκρων και πλαισίου παραθύρου	- 93 -
4.3.9	Εξωτερική και εσωτερική σκίαση	- 93 -
4.3.10	Κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας.....	- 95 -
4.3.11	Κατανομή της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους	- 96 -
5	Περιγραφή των προγραμμάτων προσομοίωσης.	- 97 -
5.1	Γενικά.....	- 97 -
5.2	Περιγραφή του υπό μελέτη ορόφου	- 97 -
5.3	Περιγραφή υπολογιστικών προγραμμάτων	- 102 -
5.3.1	Πρόγραμμα υπολογισμού συμβατικού κτηρίου, μελέτης εξωτερικών τοίχων, οροφών, και υαλοπινάκων του κτηρίου	- 102 -
5.3.2	Πρόγραμμα για την μελέτη του προσανατολισμού του κτηρίου.....	- 106 -
5.3.3	Πρόγραμμα μελέτης εξωτερικής σταθερής σκίασης.....	- 108 -
5.3.4	Πρόγραμμα προσομοίωσης κινητής σκίασης	- 110 -
5.3.5	Πρόγραμμα προσομοίωσης νυκτερινού αερισμού	- 112 -
5.4	Μετεωρολογικά δεδομένα.....	- 113 -
6	Αποτελέσματα υπολογισμών και συμπεράσματα.....	- 115 -
6.1	Φορτία συμβατικού κτηρίου	- 115 -
6.2	Επίδραση του προσανατολισμού του κτηρίου	- 117 -
6.3	Επίδραση των εξωτερικών τοίχων	- 126 -
6.4	Επίδραση της οροφής του κτηρίου	- 121 -
6.5	Επίδραση των υαλοπινάκων	- 129 -
6.6	Επίδραση σταθερής και κινητής σκίασης	- 132 -
6.7	Νυκτερινός αερισμός	- 140 -
6.8	Γενικά συμπεράσματα	- 144 -
7	Βιβλιογραφία.....	- 145 -

Παράρτημα I

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα εργασία γίνεται μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός θεωρητικού κτηρίου γραφείων στην περιοχή της Αθήνας με χρήση του υπολογιστικού πακέτου TRNSYS 16. Μελετάται η επίδραση της χρήσης διαφόρων συστημάτων παθητικής ψύξης καθώς και ο προσανατολισμός και το είδος των εξωτερικών τοίχων και οροφών που χρησιμοποιούνται, στην ενεργειακή κατανάλωση του κτηρίου που αφορούν την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης στο κτήριο, ενώ παράλληλα γίνεται περιγραφή του υπολογιστικού πακέτου TRNSYS.

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφονται τα παθητικά συστήματα ψύξης που μελετώνται στην παρούσα εργασία. Αυτά είναι ο φυσικός αερισμός, ο νυκτερινός αερισμός και η σκίαση του κτηρίου με χρήση εξωτερικών, κινητών και σταθερών συσκευών σκίασης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται η δομή του υπολογιστικού πακέτου TRNSYS και περιγράφονται τα τρία προγράμματα που το αποτελούν. Αυτά είναι το “Simulation Studio”, στο οποίο γίνεται ο σχεδιασμός των προγραμμάτων προσομοίωσης, το “TRNBuild” στο οποίο ρυθμίζονται οι παράμετροι του πολυζωνικού κτηρίου και το “TRNEdit” το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση παραμετρικών εκτελέσεων, ενώ εκτός αυτού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία αυτόνομων προγραμμάτων.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται τα μοντέλα του TRNSYS τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κατά τις προσομοιώσεις. Περιγράφονται στοιχεία που αφορούν τον προγραμματισμό με τη χρήση των μοντέλων αυτών καθώς και το μαθηματικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίζονται. Σημαντικότερα εξ αυτών είναι το μοντέλο επεξεργασίας της ηλιακής ακτινοβολίας, το οποίο υπολογίζει από τα υπάρχοντα μετεωρολογικά δεδομένα τα διάφορα μεγέθη που αφορούν την ακτινοβολία στα διάφορα επίπεδα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται ειδικά το μοντέλο του πολυζωνικού κτηρίου. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι μέθοδοι που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων από τις εξωτερικές επιφάνειες του κτηρίου, τους υαλοπίνακες, την διείσδυση αέρα, τον αερισμό, τους ανθρώπους και τις συσκευές.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των προγραμμάτων προσομοίωσης που δημιουργήθηκαν με σκοπό την μελέτη του κτηρίου. Επίσης περιγράφεται το υπό μελέτη κτήριο και οι στρατηγικές που χρησιμοποιούνται για τον αερισμό και τον φωτισμό.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών και αναλύονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Τζιβανίδη Χ. για τη συμβολή του για την περάτωση αυτής της εργασίας.

Στεργίου Χρήστος,

ΑΘΗΝΑ 2007

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας είναι ιδιαίτερα εμφανής στον κτηριακό τομέα, ο οποίος καλύπτει το 36% περίπου της συνολικής τελικής ενεργειακής κατανάλωσης στην Ελλάδα, με μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 7% και το 40% στην Ε.Ε.. Επιπλέον, τα κτήρια ευθύνονται για πάνω από το 45% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), βασικού αερίου του φαινομένου του θερμοκηπίου. Στα πλαίσια αυτά η βιοκλιματική αρχιτεκτονική έχει αποτελέσει τις τελευταίες δεκαετίες βασική προσέγγιση στην κατασκευή κτιρίων παγκοσμίως, ενώ στα περισσότερα κράτη πλέον αποτελεί βασικό κριτήριο σχεδιασμού μικρών και μεγάλων κτιρίων το οποίο λαμβάνεται υπόψη από όλους τους μελετητές αρχιτέκτονες και μηχανικούς

Η μέση κατανάλωση ενέργειας/ κατοικία για θέρμανση έχει ελαφρά μειωθεί στην Ε.Ε. από το 1990, ενώ η θεωρητική ειδική κατανάλωση των νέων κατοικιών στην Ε.Ε. είναι κατά 22% μικρότερη από το 1985. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τόσο οι κατοικίες, όσο και οι ηλεκτρικές συσκευές είναι πιο ενεργειακά αποδοτικές, αν και οι απαιτήσεις σε άνεση είναι αυξημένες. Επιπλέον, υπάρχουν αυστηρότερα κριτήρια ενεργειακής απόδοσης που έχουν θεσπιστεί σε αρκετές χώρες τα τελευταία χρόνια.

Στην Ελλάδα, μια χώρα με μικρές απαιτήσεις σε θέρμανση κατά τους χειμερινούς μήνες, οι ανάγκες για θέρμανση των κατοικιών ανέρχονται περίπου στο 70% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Η κατανάλωση ενέργειας για τις οικιακές συσκευές, το φωτισμό και τον κλιματισμό ανέρχεται στο 18% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου (ΚΑΠΕ, 1997). Οι κατοικίες με κεντρικό σύστημα θέρμανσης, το οποίο χρησιμοποιεί ως καύσιμο αποκλειστικά το πετρέλαιο, αντιστοιχούν στο 35,5% του συνόλου. Το υπόλοιπο 64% είναι αυτόνομα θερμαινόμενες κατοικίες που χρησιμοποιούν σε ποσοστό 25% πετρέλαιο, 12% ηλεκτρισμό και 18% καυσόξυλα. Σε αντίθεση με το σύνολο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στην Ελλάδα η κατανάλωση ενέργειας στα κτήρια παρουσιάζει αυξητική τάση.

Τα τελευταία χρόνια, η Πολιτεία με την ουσιαστική υποστήριξη του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε) και άλλων ενεργειακών φορέων και ομάδων εμπειρογνομόνων δραστηριοποιήθηκε έντονα για την εδραίωση ενός σύγχρονου θεσμικού πλαισίου για την Εξοικονόμηση Ενέργειας και την αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στον κτηριακό τομέα, αναγνωρίζοντας την υφιστάμενη ενεργειακή του κατάσταση και το προηγούμενο σχετικό νομοθετικό και κανονιστικό κενό. Η ενεργοποίηση αυτή της Πολιτείας είναι συμβατή με τις επιταγές της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την άμεση εφαρμογή των διατάξεων της οδηγίας SAVE 93/76/ΕΟΚ για την ενεργειακή πιστοποίηση των κτηρίων και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.

Η πρώτη ολοκληρωμένη δραστηριότητα ήταν η εκπόνηση, από Επιτροπή Θεσμικού Πλαισίου του ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., του σχεδίου δράσης ΕΝΕΡΓΕΙΑ 2001 για την εξοικονόμηση ενέργειας στον οικιστικό τομέα (1995). Στη συνέχεια, με βάση ορισμένες από τις προτάσεις αυτού του σχεδίου, προετοιμάστηκε και εκδόθηκε μια νέα Κοινή Υπουργική Απόφαση, η Κ.Υ.Α. 21475/4707 (ΦΕΚ 880/Β/19-08-98) των

ΥΠ.ΕΘ.Ο., ΥΠ.ΑΝ., Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. και ΥΠ.ΕΣ.Δ.Δ.Α., η οποία προβλέπει μέτρα και διαδικασίες για τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης υφιστάμενων και νεοαναγειρόμενων κτηρίων όλων των χρήσεων.

Με την Κ.Υ.Α. θεσπίστηκε ένας νέος Κανονισμός για την Ορθολογική Χρήση και Εξοικονόμηση Ενέργειας (Κ.Ο.Χ.Ε.Ε.), ο οποίος θα αντικαταστήσει τον ισχύοντα Κανονισμό Θερμομονώσεως Κτηρίων του 1979, διευρύνοντας παράλληλα το αντικείμενο εφαρμογής (κτηριακό κέλυφος, ενεργειακές Η/Μ εγκαταστάσεις, θερμική και οπτική άνεση, ποιότητα αέρα κλπ.)

Ο Κ.Ο.Χ.Ε.Ε. θα έχει εφαρμογή στην μελέτη και στην κατασκευή όλων των νεοαναγειρόμενων κτηρίων αλλά και στην ανακαίνιση υφιστάμενων κτηρίων με σκοπό τη βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης. Μεταξύ άλλων θα επιβάλει την εκπόνηση ειδικών μελετών, όπως η Ενεργειακή Μελέτη, και θα καθιερώνει ως υποχρεωτική την ενεργειακή επιθεώρηση, μια πρότυπη διαδικασία καταγραφής και ανάλυσης της πραγματικής ενεργειακής συμπεριφοράς ενός υφιστάμενου κτηρίου, των παραγόντων που την επηρεάζουν καθώς και των δυνατοτήτων για την εξοικονόμηση ενέργειας σε αυτό.

Στα πλαίσια αυτά η βιοκλιματική αρχιτεκτονική έχει αποτελέσει τις τελευταίες δεκαετίες βασική προσέγγιση στην κατασκευή κτιρίων λόγω των χαμηλότερων απαιτήσεων ενέργειας για την θέρμανση, τον δροσισμό και τον φωτισμό των κτιρίων που προκύπτουν από την πρακτική της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής και πολλαπλά οφέλη που την συνεπάγονται: ενεργειακά (εξοικονόμηση και θερμική/οπτική άνεση), οικονομικά (μείωση κόστους ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων), περιβαλλοντικά (μείωση ρύπων) και κοινωνικά. Επιπρόσθετα, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός – αν και είναι ενσωματωμένος στην αρχιτεκτονική που χαρακτηρίζει κάθε τόπο σε ολόκληρη τη γη – θεωρείται από πολλούς ως μία νέα «θεώρηση» στην αρχιτεκτονική και σχετίζεται με την οικολογία περισσότερο, παρά με την ενέργεια και την εξοικονόμηση που δύναται να επιφέρει.

Ειδικότερα, το ενεργειακό όφελος που προκύπτει από την εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποδίδεται με τους παρακάτω τρόπους:

- i. εξοικονόμηση ενέργειας από την σημαντική μείωση απωλειών λόγω της βελτιωμένης προστασίας του κελύφους και συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων,
- ii. παραγωγή θερμικής ενέργειας (θερμότητας) μέσω των ηλιακών συστημάτων άμεσου ή έμμεσου κέρδους με συμβολή στις θερμικές ανάγκες των χώρων προσάρτησης και μερική κάλυψη των απαιτήσεων θέρμανσης του κτιρίου,
- iii. δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης και μείωση των απαιτήσεων όσον αφορά στη ρύθμιση θερμοστάτη (σε χαμηλότερες θερμοκρασίες τον χειμώνα και υψηλότερες το καλοκαίρι),
- iv. διατήρηση της θερμοκρασίας εσωτερικού αέρα σε επίπεδα υψηλά τον χειμώνα (και αντίστοιχα χαμηλά το καλοκαίρι), με αποτέλεσμα την μείωση του φορτίου για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων από τα επικουρικά συστήματα κατά την χρήση του κτιρίου.

Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και των περιβαλλοντικών πηγών, γενικότερα, όπως προκύπτει από το βιοκλιματικό σχεδιασμό, επιτυγχάνεται στα πλαίσια της συνολικής θερμικής λειτουργίας του κτιρίου και της σχέσης κτιρίου - περιβάλλοντος. Η δε θερμική λειτουργία ενός κτιρίου αποτελεί μία δυναμική κατάσταση, η οποία: εξαρτάται από τις τοπικές κλιματικές και περιβαλλοντικές παραμέτρους (την ηλιοφάνεια, τη θερμοκρασία εξωτερικού αέρα, τη σχετική υγρασία, τον άνεμο, τη βλάστηση, το σκιασμό από άλλα κτίρια), αλλά και τις συνθήκες χρήσης του κτιρίου (κατοικία, γραφεία, νοσοκομεία κλπ.) και βασίζεται στην αντίστοιχη ενεργειακή συμπεριφορά των δομικών του στοιχείων και (κατ' επέκταση) των ενσωματωμένων παθητικών ηλιακών συστημάτων, αλλά και το ενεργειακό προφίλ που προκύπτει από την λειτουργία του κτιρίου.

1 Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτηρίων και συστήματα παθητικής ψύξης

1.1 Γενικά

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αφορά στο σχεδιασμό κτιρίων και χώρων (εσωτερικών και εξωτερικών-υπαίθριων) με βάση το τοπικό κλίμα, με σκοπό την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια και άλλες περιβαλλοντικές πηγές αλλά και τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος. Βασικά στοιχεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελούν τα παθητικά συστήματα που ενσωματώνονται στα κτίρια με στόχο την αξιοποίηση των περιβαλλοντικών πηγών για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό των κτιρίων. Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται τα συστήματα παθητικής ψύξης που αφορούν την παρούσα εργασία.

Στην κατηγορία των συστημάτων παθητικής ψύξης εντάσσονται τα συστήματα στα οποία η μεταφορά θερμότητας επιτελείται με φυσικό τρόπο, χωρίς την παρεμβολή μηχανικών μέσων. Τα παθητικά συστήματα εκμεταλλεύονται τις ιδιότητες των δομικών στοιχείων, του ανέμου καθώς και τον προσανατολισμό του κτιρίου στο χώρο. Σε αυτή την κατηγορία ενδέχεται να συμπεριληφθούν και τα λεγόμενα υβριδικά συστήματα, τα οποία είναι παθητικά συστήματα που όμως κάνουν χρήση και μηχανικών μέσων η λειτουργία των οποίων απαιτεί συμπληρωματικά και χρήση συμβατικής ενέργειας. Η συμβατική όμως ενέργεια, που καταναλώνεται είναι κατά πολύ μικρότερη από την παθητικής μορφής ενέργεια που χρειάζεται για τις ανάγκες του κτιρίου.

Η χρήση τεχνικών και συστημάτων παθητικής ψύξης παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα όπως: Α) Περιβαλλοντικά οφέλη που απορρέουν από την αποφυγή χρήσης CFCs και HFCs, Β) Σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, Γ) Βελτίωση της ποιότητας του αέρα στο κτήριο και υγιεινή των ενοίκων, Δ) Μείωση έως εξαφάνιση των προβλημάτων του φορτίου αιχμής ηλεκτρικής ενέργειας, Ε) Οικονομικά οφέλη σε σχέση με το αρχικό κεφάλαιο συντήρησης και κόστος λειτουργίας των συστημάτων ψύξης, Ζ) Απλότητα και ευκολία χρήσης.

Η εφαρμογή τεχνικών παθητικής ψύξης αποτελεί τμήμα του όλου σχεδιασμού του κτιρίου και βρίσκεται σε στενή συσχέτιση με το είδος του κτιρίου, τον τρόπο χρήσης του, το κλίμα, κλπ. Το πλαίσιο ορισμού των τεχνικών και συστημάτων παθητικής ψύξης οροθετείται από τρεις βασικούς σχεδιαστικούς άξονες: προστασία του κτηρίου από τα λεγόμενα θερμικά κέρδη, απόσβεση και απορρόφηση των θερμικών εισροών στο κτήριο, απόρριψη της πλεονάζουσας θερμότητας σε περιβαλλοντικές πηγές χαμηλότερης θερμοκρασίας από αυτήν του κτηρίου.

Οι τεχνικές προστασίας του κτηρίου από τα θερμικά κέρδη είναι οι εξής: κατάλληλη χωροταξική διαρρύθμιση και χρήση των εξωτερικών χώρων, βελτιστοποίηση της μορφής του κτηρίου, ηλιοπροστασία και σκιασμός των διαφανών και αδιαφανών στοιχείων του κελύφους, θερμομόνωση, έλεγχος των εσωτερικών φορτίων. Οι τεχνικές απόσβεσης και απορρόφησης των θερμικών εισροών στο κτήριο

σχετίζονται με τη θερμοχωρητικότητα του κτηρίου και την ικανότητα του να αποθηκεύει θερμότητα. Η ύπαρξη σημαντικής μάζας επιτρέπει την απόσβεση των μέγιστων εσωτερικών θερμοκρασιών και τη μείωση του ψυκτικού φορτίου του κτιρίου. Η αποθηκευμένη θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας αποδίδεται κατά τη νύκτα όπου δεν υπάρχει συνήθως πρόβλημα υπερθέρμανσης. Η απόρριψη της πλεονάζουσας θερμότητας το κτιρίου προϋποθέτει την ύπαρξη μιας πηγής του περιβάλλοντος που χαρακτηρίζεται από θερμοκρασία χαμηλότερη από αυτή του κτηρίου. Έτσι με κατάλληλη σύνδεση είναι δυνατόν να μεταφερθεί η πλεονάζουσα θερμότητα. Οι χρησιμοποιούμενες πηγές του περιβάλλοντος καθώς και οι αντίστοιχοι τρόποι μετάδοσης θερμότητας είναι ο ουρανός με τρόπο μετάδοσης θερμότητας την ακτινοβολία (ψύξη με ακτινοβολία), ο αέρας και το νερό με τρόπο μετάδοσης θερμότητας την εξάτμιση (ψύξη με εξάτμιση) , ο αέρας με τρόπο μετάδοσης θερμότητας την συναγωγή (αερισμός) και το έδαφος με τρόπο μετάδοσης θερμότητας την αγωγιμότητα (ψύξη με χρήση του εδάφους).

1.2 Μικροκλίμα και θερμοχωρητικότητα κτηρίων

Η προσαρμογή του μικροκλίματος γύρω από το κτήριο βοηθά σημαντικά στη βελτίωση των εσωτερικών συνθηκών θερμικής άνεσης και στη μείωση του ψυκτικού φορτίου του κτηρίου ενώ, παράλληλα, συνεισφέρει στη δημιουργία και χρήση προστατευμένων εξωτερικών χώρων. Κατάλληλη τοποθέτηση του κτηρίου στο χώρο προσφέρει φυσική προστασία από το περιβάλλον ενώ βοηθά στην εκμετάλλευση των τοπικών ανέμων.

Τα κτήρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εμπόδια στη ροή του ανέμου αλλάζοντας την ταχύτητα και την διεύθυνση του. Σε περιοχές όπου το πλάτος του δρόμου είναι μεγάλο και τα κτήρια έχουν μικρό ύψος, ο άνεμος μπορεί να κινείται ανάμεσα στα κτίρια με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται επαρκής αερισμός αυτών. Στην περίπτωση που τα κτήρια έχουν μεγάλο ύψος και το πλάτος του δρόμου είναι μικρό, τότε ο άνεμος δεν μπορεί να κυκλοφορήσει ανάμεσα στα κτήρια, αδυνατώντας να επιτύχει επαρκή αερισμό τους. Οι διάφορες τυπολογίες κλίματος καθορίζουν τη δόμηση μιας περιοχής με σκοπό την επίτευξη βελτιωμένων συνθηκών θερμικής άνεσης. Έτσι, π.χ. σε θερμά και ξηρά κλίματα, ο σκιασμός παίζει μεγαλύτερο ρόλο από τον αερισμό. Οι οικισμοί χαρακτηρίζονται από την πυκνή δόμησή τους όπου οι δημόσιοι χώροι και δρόμοι καλύπτονται από τα κτήρια με σκοπό την επίτευξη σκιασμού των δρόμων, των πεζών και των κτηρίων. Σε θερμά και υγρά κλίματα δίνεται έμφαση στο διαμπερή αερισμό λόγω της υψηλής σχετικής υγρασίας του αέρα η οποία δημιουργεί έντονο αίσθημα δυσαρέσκειας στους ανθρώπους. Οι οικισμοί είναι πιο διασκορπισμένοι, τα κτίρια είναι τοποθετημένα σε απόσταση το ένα από το άλλο ώστε να οδηγούν τον άνεμο μέσα από τους δρόμους καθώς και στο εσωτερικό των κτηρίων. Τα τελευταία διαθέτουν πολλά και μεγάλα ανοίγματα που προστατεύονται από την ηλιακή ακτινοβολία καθώς και βεράντες. Τα ταβάνια είναι ψηλά καθώς και τα παράθυρα ώστε να επιτρέψουν τη διαστρωμάτωση του

εσωτερικού αέρα ενώ τοποθετούνται ανοίγματα στις οροφές για την απομάκρυνση του θερμού αέρα.

Οι σύγχρονες πόλεις έχουν κατασκευασθεί με δομικά υλικά, μεγάλης θερμικής αδράνειας, με αποτέλεσμα η θερμότητα από την ηλιακή ακτινοβολία να αποθηκεύεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και να εκπέμπεται κατά τη διάρκεια της νύκτας. Η ακτινοβολία αυτή, εξ' αιτίας των πολλαπλών ανακλάσεων που υφίσταται, παγιδεύεται και δεν απάγεται προς την ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Η ψύξη των κτιρίων των πόλεων, αποτελεί μία δύσκολη διαδικασία λόγω των πολυάριθμων υψηλών κτηρίων γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα η θερμοκρασία στις περιοχές των πόλεων να είναι πιο υψηλή σε σχέση με τη θερμοκρασία της υπαίθρου (φαινόμενο «θερμής νησίδας»).

Η μάζα ενός κτιρίου επιτρέπει την αποθήκευση της πλεονάζουσας θερμότητας μειώνοντας με τον τρόπο αυτό το εύρος διακύμανσης της εσωτερικής θερμοκρασίας του καθώς και τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας του, προσφέροντας έτσι καλύτερα επίπεδα θερμικής άνεσης εντός του χώρου. Υλικά όπως το τούβλο, η πέτρα και το μπετόν δρουν ως αποθηκευτές θερμότητας και ψύξης και λόγω του γεγονότος ότι είναι υλικά υψηλής θερμοχωρητικότητας, ο χρόνος που χρειάζεται για να μεταφερθεί η θερμότητα και να αποδοθεί στο εσωτερικό του κτιρίου είναι μεγάλος. Αυτή η χρονική καθυστέρηση είναι πολύ σημαντική διότι η εξωτερική θερμοκρασία θα αρχίσει να μειώνεται επειδή θα αρχίζει να νυχτώνει. Τότε το κτίριο αρχίζει να αποβάλλει θερμότητα προς το περιβάλλον λόγω του ότι κατά τη διάρκεια της νύκτας η εξωτερική θερμοκρασία είναι πιο χαμηλή από την θερμοκρασία που υπάρχει μέσα στο κτήριο.

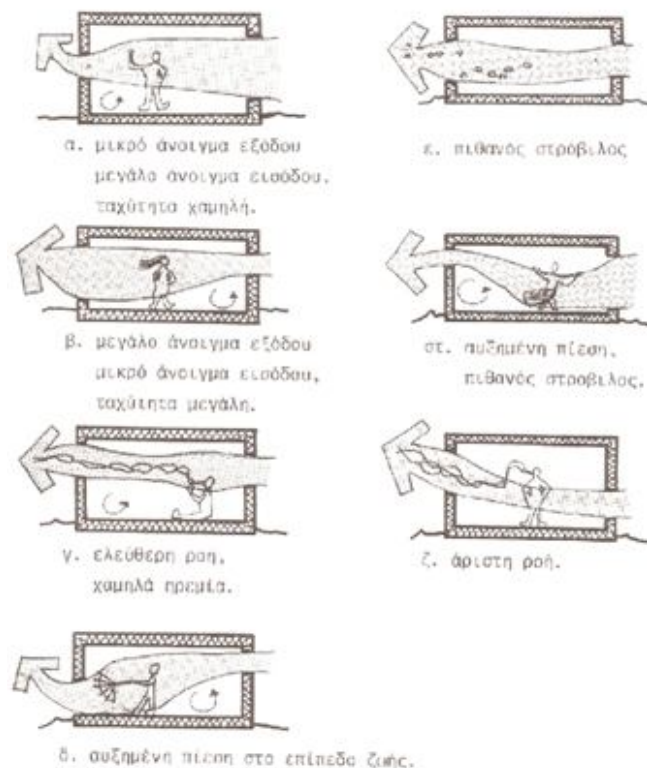
1.3 Φυσικός αερισμός

Ο φυσικός αερισμός είναι μια από τις πιο ευρέως διαδεδομένες τεχνικές παθητικής ψύξης. Ο αερισμός των εσωτερικών χώρων ενός κτιρίου είναι απαραίτητος όχι μόνο για τη μείωση της θερμοκρασίας, αλλά και για την διατήρηση της ποιότητας του αέρα σε ικανοποιητικά επίπεδα. Ο φυσικός αερισμός πραγματοποιείται με τη διείσδυση του εξωτερικού αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου. Η φυσική κίνηση του αέρα διαμέσου ενός ανοίγματος οφείλεται στη διαφορά πίεσης που υπάρχει στις δύο πλευρές του. Η διαφορά αυτή πίεσης οφείλεται είτε στην ύπαρξη ανέμου είτε στη διαφορά θερμοκρασίας είτε σε συνδυασμό τους. Ο αερισμός παρέχει ψύξη χρησιμοποιώντας τον αέρα για την απομάκρυνση της θερμότητας από το κτίριο. Η δε επαφή του με το ανθρώπινο σώμα αυξάνει το ρυθμό εξάτμισης από το δέρμα και την αποβολή θερμότητας.

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας στο σωστό σχεδιασμό ενός κτιρίου αποτελεί η γνώση της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου. Υψηλά επίπεδα αερισμού θα πρέπει να υπάρχουν κατά την διάρκεια της ημέρας στους κατοικημένους χώρους του κτηρίου στο ύψος του ανθρώπινου κεφαλιού. Επιπρόσθετα, θα πρέπει να υπάρχει μια καλή ροή δροσερού αέρα κατά μήκος των στοιχείων μεγάλου όγκου του κτηρίου έτσι

ώστε να διαχέεται μέσω αυτών όσο γίνεται περισσότερη θερμότητα. Σημαντικό ρόλο για την επίτευξη της σωστής κυκλοφορίας του αέρα μέσα στο κτίριο έχει η θέση που έχουν τοποθετηθεί τα ανοίγματα και το σχήμα τους. Οι κύριοι παράμετροι που επηρεάζουν τις συνθήκες του φυσικού αερισμού, είναι: οι εξωτερικές κλιματικές συνθήκες, ο προσανατολισμός, η θέση και το μέγεθος των ανοιγμάτων, η χρήση του κτιρίου και η δραστηριότητα των ενοίκων.

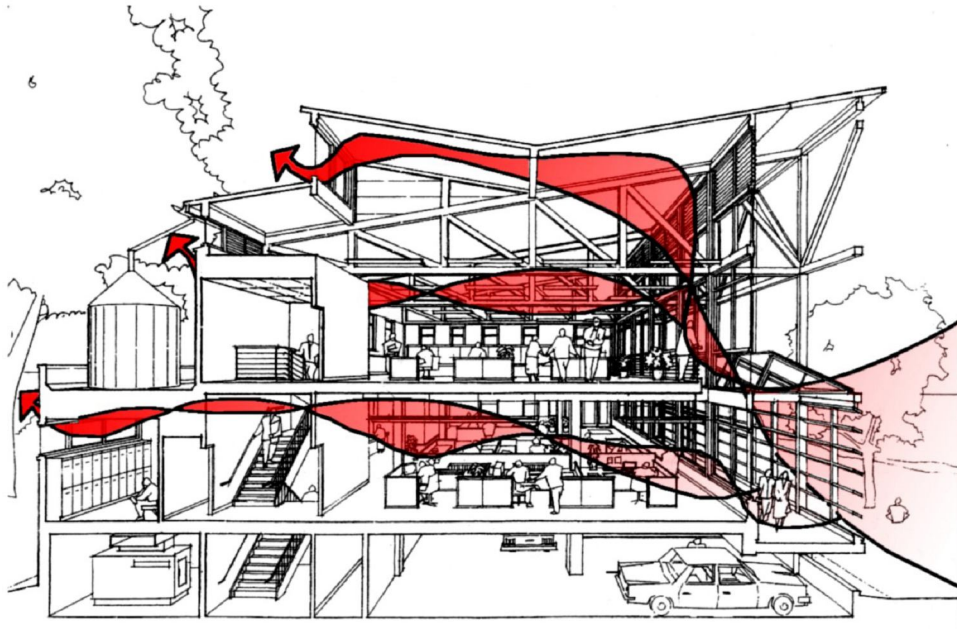
Οι εξωτερικές κλιματικές συνθήκες καθορίζουν και τις απαιτήσεις του φυσικού αερισμού στη διάρκεια των εποχών του έτους. Στις εύκρατες περιοχές, όπου ο χειμώνας είναι υγρός και σχετικά ψυχρός, το ποσοστό του αερισμού πρέπει να μειώνεται, ώστε να μην αυξάνονται οι θερμικές απώλειες. Αντίθετα, το καλοκαίρι ο φυσικός αερισμός είναι απαραίτητος για την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης. Η κίνηση του αέρα μειώνει την εσωτερική θερμοκρασία και απομακρύνει την πρόσθετη υγρασία. Οι δροσεροί άνεμοι (αύρες) συμβάλλουν στο φυσικό δροσισμό και την ψύξη του κτηρίου. Σε ζεστές, ξηρές περιοχές με μεγάλη εξωτερική θερμοκρασία το καλοκαίρι, είναι προτιμότερο να αποφεύγεται ο αερισμός την ημέρα. Αντίθετα, τη νύκτα, που η εξωτερική θερμοκρασία είναι πιο χαμηλή, ο φυσικός αερισμός επιβάλλεται τόσο για τη μείωση της θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου, όσο και για την ψύξη των εσωτερικών επιφανειών. Για την αξιοποίηση των ευνοϊκών συνθηκών, προϋπόθεση ικανή και αναγκαία είναι ο κατάλληλος σχεδιασμός των ανοιγμάτων του κτηρίου.



Σχ. 1: Κατανομή της ροής του αέρα στον εσωτερικό χώρο σε σχέση με το μέγεθος και την θέση των ανοιγμάτων.

Ο προσανατολισμός, η θέση και το μέγεθος των ανοιγμάτων αποτελούν καθοριστικό κριτήριο για τη δημιουργία επαρκούς φυσικού αερισμού. Πολλές

μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν για τη διερεύνηση των παραπάνω παραμέτρων. Έτσι αναφέρεται ότι καλύτερες συνθήκες αερισμού δημιουργούνται όταν η διεύθυνση του ανέμου παρουσιάζει μια κλίση 45° περίπου, ως προς τη διεύθυνση των ανοιγμάτων εισόδου. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μια κυκλική κίνηση του αέρα μέσα στο χώρο και πιο ομοιόμορφη κατανομή της ροής και της ταχύτητας του. Από άλλες μελέτες έχει προκύψει ότι καλύτερες συνθήκες αερισμού επιτυγχάνονται όταν το ρεύμα του αέρα αλλάζει διεύθυνση μέσα στο χώρο, παρά όταν η ροή είναι κατευθυνόμενη, δηλαδή διαμπερής. Σχετικά με το σχήμα των ανοιγμάτων έχει αποδειχθεί ότι τα ορθογωνικά ανοίγματα έχουν καλύτερη απόδοση από ανοίγματα οποιουδήποτε άλλου σχήματος για οποιαδήποτε κλίση εισόδου του ανέμου για την επίτευξη υψηλότερων ταχυτήτων αέρα στο εσωτερικό ενός κτηρίου, οι διαστάσεις των ανοιγμάτων εισόδου του αέρα πρέπει να είναι κατά 50% περίπου μικρότερες από τις διαστάσεις των ανοιγμάτων εξόδου. Γενικά τα ανοίγματα που βρίσκονται στην υπήνεμη πλευρά (ανοίγματα εξόδου), πρέπει να είναι μεγαλύτερα ή τουλάχιστον ισομεγέθη με τα ανοίγματα εισόδου έτσι ώστε να διευκολύνεται η ελεύθερη κίνηση του αέρα μέσα στο χώρο, χωρίς να δημιουργείται το φαινόμενο της υποπίεσης (φαινόμενο Venturi).



Σχ. 2. Ροή του αέρα σε κτήριο με χρήση φυσικού αερισμού για την ψύξη του.

Η χρήση μονόπλευρου αερισμού, ανοίγματα δηλαδή από τη μία πλευρά του κτηρίου, δεν συνίσταται διότι με αυτόν τον τρόπο δεν επιτυγχάνεται σωστή κυκλοφορία αέρα. Το γεγονός αυτό συμβαίνει διότι με ένα ανοιχτό παράθυρο ο αερισμός γίνεται κυρίως λόγω της τυρβώδους ροής του αέρα και η κίνηση του μέσα στο κτήριο δεν είναι σημαντική. Επομένως, είναι προτιμότερη η χρήση δύο παραθύρων ώστε να γίνεται διαμπερής αερισμός. Στην περίπτωση που ο άνεμος έχει διεύθυνση πλάγια ως προς τα ανοίγματα, τότε ο αέρας κυκλοφορεί σε όλο το χώρο. Ο διαμπερής αερισμός μπορεί να βελτιωθεί με την τοποθέτηση δύο ανοιγμάτων, ένα σε κάθε πλευρικό τοίχο. Με την επιλογή αυτή γίνεται συνήθως μεγαλύτερη

εκμετάλλευση των αλλαγών των κατευθύνσεων του ανέμου. Η διανομή των ανοιγμάτων στην πρόσοψη του κτηρίου είναι σημαντικό στοιχείο για την απόδοση του φυσικού αερισμού. Η αποτελεσματικότητα του φυσικού αερισμού επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τον σχεδιασμό του κτηρίου και τους χώρους που το περιβάλλουν. Οι εναλλαγές αέρα σε όγκους του χώρου ανά ώρα (ACH) μπορεί να μεταβάλλονται σημαντικά ανάλογα με ης συνθήκες. Για ψύξη με αερισμό για μια κατοικία ή γραφείο στα πρότυπα της ASHRAE, συνιστώνται 0,75 με 1 ACH, ενώ σε γεμάτα αμφιθέατρα ή μπαρ απαιτούνται ορισμένες φορές 30 έως 50 ACH. Υψηλές τιμές εναλλαγών αερισμού επηρεάζουν τις συνθήκες άνεσης και προκαλούν ενοχλήσεις: για παράδειγμα ένα κερί τρεμοπαίζει σε ταχύτητα αέρα 0,5 m/s περίπου ενώ σελίδες χαρτιού μπορούν να παρασυρθούν όταν η ταχύτητα του αέρα φτάσει τα 1,5m/s.

Η ψύξη του κτηρίου με φυσικό αερισμό πραγματοποιείται με την απαγωγή θερμότητας προς το εξωτερικό περιβάλλον, η οποία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Q = \frac{q}{\rho c(T_2 - T_1)}$$

Όπου:

Q, είναι το ποσοστό αερισμού σε m³/h,

q, το συνολικό θερμικό κέρδος από ενοίκους και συσκευές σε kcal/h,

ρ , η μέση πυκνότητα του αέρα σε kg/m³,

c_p , η ειδική θερμοχωρητικότητα

T₂-T₁, η διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας σε °C.

Η παραπάνω σχέση υποδηλώνει ότι για να διατηρηθεί η εσωτερική θερμοκρασία σε ανεκτά επίπεδα, εφόσον είναι γνωστή η διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας, μπορεί να υπολογισθεί ο απαιτούμενος όγκος αέρα ανά ώρα για την απομάκρυνση της πλεονάζουσας θερμότητας.

Όταν ο άνεμος προσπίπτει στην επιφάνεια ενός κτηρίου δημιουργείται θετική πίεση στη προσήνεμη και αρνητική στην υπήνεμη πλευρά του κτιρίου. Η πίεση εξ' αιτίας της ροής του ανέμου, p_w , υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$P_w = \frac{c_p \mu \rho^2}{2}$$

Όπου,

C_p , είναι ο συντελεστής ανεμοπίεσης

ρ , η πυκνότητα του αέρα (kg/m³),

μ , η ταχύτητα του ανέμου (m/s).

Ο συντελεστής ανεμοπίεσης είναι αδιάστατο μέγεθος και για τον υπολογισμό του απαιτούνται πληροφορίες σχετικά με τη γεωμετρία του κτιρίου, τη σχετική θέση του κτιρίου ως προς τα γειτονικά κτίσματα, την τοπογραφία του χώρου, κλπ.

Η ταχύτητα του ανέμου υπολογίζεται βάσει υπαρχόντων μετεωρολογικών στοιχείων της περιοχής. Τα μετεωρολογικά στοιχεία συλλέγονται από μετεωρολογικούς σταθμούς σε ύψος 10 m συνήθως από το έδαφος. Για τον

υπολογισμό της ταχύτητα του ανέμου u , σε ύψος H , η πιο απλή και ευρύτερα διαδεδομένη σχέση που χρησιμοποιείται είναι:

$$\frac{u}{u_{10}} = cH^a$$

Όπου,

u_{10} , είναι η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 10 μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους.

c και a , είναι συντελεστές που δίνονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1 : Τιμές των συντελεστών c και a για διάφορες περιοχές

Περιοχή	c	a
Επίπεδη ανοικτή περιοχή	0,68	0,17
Ημιαστική περιοχή	0,35	0,25
Πόλη	0,21	0,33

1.4 Νυκτερινός αερισμός

Ο νυκτερινός αερισμός είναι μια ιδιαίτερα αποδοτική τεχνική για το δροσισμό των κτηρίων. Όταν ψυχρός εξωτερικός αέρας κυκλοφορεί εντός του κτιρίου, τότε η αποθηκευμένη θερμότητα στο κτιριακό κέλυφος μεταφέρεται στον αέρα και μειώνεται η θερμοκρασία της κτιριακής μάζας. Με αυτό τον τρόπο, την επόμενη ημέρα, το κτίριο ξεκινά από χαμηλότερη θερμοκρασία και άρα μειώνονται οι μέγιστες θερμοκρασίες και το ψυκτικό φορτίο του κτηρίου. Κατά τη διάρκεια της νύχτας η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη σε σχέση με αυτή της ημέρας. Συνεπώς, είναι πολύ εύκολο να ψυχθούν οι εσωτερικοί χώροι του κτιρίου, επιτρέποντας στον εξωτερικό αέρα να εισέλθει σε αυτούς. Η κίνηση του αέρα απάγει τη θερμότητα που έχει αποθηκευτεί στα δομικά στοιχεία του κτηρίου κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να συμβαίνει καθ' όλη τη διάρκεια της νύχτας με αποτέλεσμα η θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων να εμφανίζεται αρκετά πιο χαμηλή την επόμενη ημέρα.

Η απόδοση του νυκτερινού αερισμού εξαρτάται από τη σχετική διαφορά της εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας. Όσο πιο χαμηλή είναι η εξωτερική θερμοκρασία, τόσο πιο αποτελεσματικός είναι ο νυκτερινός αερισμός. Είναι επίσης αναγκαίο να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή κίνηση αέρα μέσω των ανοιγμάτων. Το ποσό της θερμότητας που απάγεται από τους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα του αέρα που εισέρχεται σε αυτούς. Η

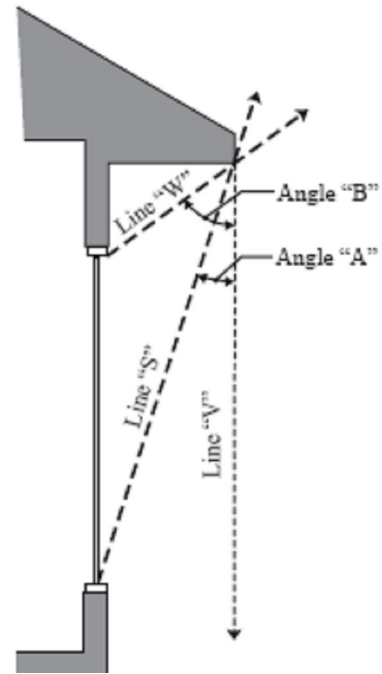
όλη διαδικασία μπορεί να βελτιωθεί με την τοποθέτηση ανεμιστήρων οροφής, οι οποίοι αυξάνουν την κίνηση του αέρα και έχουν ως αποτέλεσμα τη συναγωγή μεταξύ των διαφόρων επιφανειών και του αέρα. Η χρήση αυτών των ανεμιστήρων είναι δυνατό να επιτρέψει την επίτευξη θερμικής άνεσης στους χώρους σε θερμοκρασίες κοντά στους 29 °C με ταυτόχρονη μείωση του ψυκτικού φορτίου.

Ο φυσικός αερισμός κατά τη διάρκεια της νύχτας μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία σε μεγάλα κτίρια με μεγάλες διακυμάνσεις θερμοκρασία του αέρα καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Σε κτίρια με μεγάλη θερμοχωρητικότητα, η εσωτερική θερμοκρασία κυμαίνεται σε παρόμοια επίπεδα με τη μέση εξωτερική θερμοκρασία. Στα κτίρια στα οποία εφαρμόζονται τεχνικές νυκτερινού αερισμού, χρησιμοποιούνται ειδικά σχεδιασμένα παράθυρα με ανοίγματα στο επάνω μέρος τους. Μελέτη η οποία διεξήχθη σε κτίριο των Αθηνών τους μήνες του καλοκαιριού έδειξε ότι με την εφαρμογή νυκτερινού αερισμού η μέγιστη παρατηρούμενη μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας ήταν 10°C. Η μείωση της θερμοκρασίας, βρέθηκε να είναι πιο σημαντική τους μήνες Ιούνιο και Αύγουστο από ότι τον Ιούλιο, διότι τον Ιούλιο η εξωτερική θερμοκρασία του αέρα κατά τη διάρκεια της νύκτας είναι υψηλότερη. Μια άλλη μελέτη σε κτίρια γραφείων στην περιοχή της Αθήνας που αφορούσε στη δυνατότητα μείωσης των ενεργειακών τους αναγκών, έδειξε ότι με την εφαρμογή νυκτερινού αερισμού η ανάγκη για ψυκτικά φορτία για τον κλιματισμό των χώρων είναι δυνατό να μειωθεί έως και κατά 30%.

1.5 Σκίαση και ηλιοπροστασία

Η ηλιοπροστασία είναι μια ιδιαίτερα διαδεδομένη στρατηγική για την προστασία του κτηρίου από τα θερμικά κέρδη. Επιτυχής ηλιοπροστασία συνεισφέρει αφενός στη μείωση των ηλιακών κερδών στο κτίριο μέσω των διάφανων αλλά και αδιαφανών στοιχείων του κελύφους, αλλά και στη ρύθμιση του φυσικού φωτισμού εντός των χώρων και την προστασία των ενοίκων από τη θάμβωση και την υπεριώδη ακτινοβολία. Ο βαθμός και ο τύπος της αναγκαίας σκίασης εξαρτάται από τη θέση του ήλιου, την τοποθεσία και τη γεωμετρία του τμήματος του κτιρίου που πρέπει να σκιαστεί. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού τα νότια ανοίγματα λαμβάνουν πιο λίγη ηλιακή ακτινοβολία από ότι το χειμώνα, οπότε είναι και πιο εύκολο να προστατευθούν. Η σκίαση των δυτικών και ανατολικών παραθύρων είναι πιο δύσκολη διότι ο ήλιος κατά την ανατολή και τη δύση βρίσκεται σε πιο χαμηλή κλίση στον ουρανό. Η ηλιοπροστασία επιτυγχάνεται με τη χρήση σκιάστρων και τη χρήση βλάστησης. Οι τεχνικές που εφαρμόζονται είναι εξωτερικές ή εσωτερικές, κινητές ή σταθερές ή και συνδυασμοί αυτών.

Τα πιο αποτελεσματικά σταθερά σκίαστρα για τα νότια παράθυρα είναι τα οριζόντια. Πρέπει να σημειωθεί ωστόσο, ότι για τη χρήση οποιονδήποτε οριζόντιων σκιάστρων είναι απαραίτητος ο νότιος προσανατολισμός του ανοίγματος που σκιάζεται. Αυτό συμβαίνει διότι μια μικρή απόκλιση της τάξης των 8° μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση της αποτελεσματικότητας της σκίασης. Για ανατολικούς και δυτικούς προσανατολισμούς χρησιμοποιούνται κατακόρυφα σκίαστρα. Το κύριο μειονέκτημα των σταθερών σκιάστρων είναι ότι το ποσό της σκίασης είναι σταθερό και εξαρτάται από τη θέση του ήλιου σε κάθε εποχή και όχι από το κλίμα που θα επικρατεί. Ακόμα τα σταθερά σκίαστρα θα αποκόπτουν μέρος της διάχυτης ακτινοβολίας που εισέρχεται στο κτίριο κατά το χειμώνα. Για το λόγο αυτό τα σκίαστρα θα πρέπει να τοποθετηθούν έτσι ώστε να επιτρέπουν την είσοδο της ακτινοβολίας το χειμώνα και να την εμποδίζουν το καλοκαίρι. Για τα γεωγραφικά πλάτη του Ελλαδικού χώρου έχει προκύψει από έρευνες ότι για την πλήρη σκίαση των νότιων υαλοπινάκων από σταθερά οριζόντια σκίαστρα θα πρέπει η γωνία Α (Σχ.3) να είναι 30°-35°.



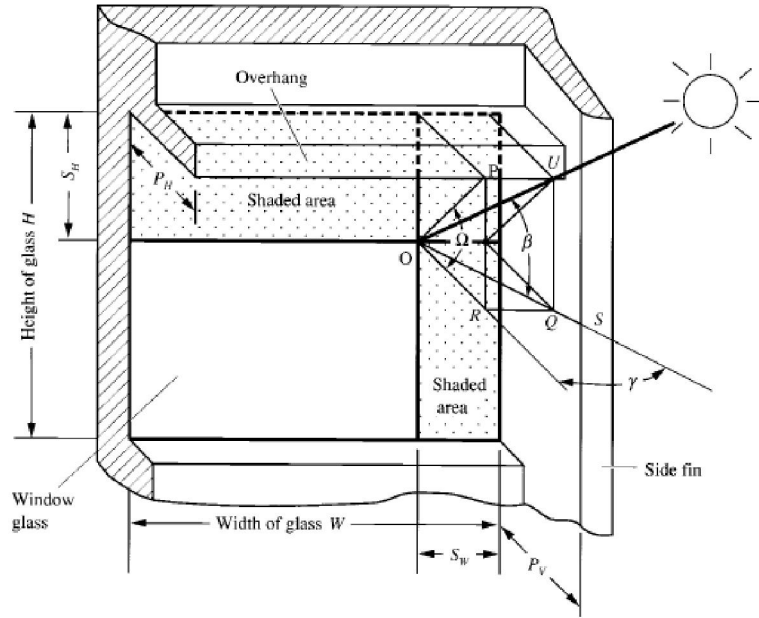
Σχ. 3 Βέλτιστο οριζόντιο σκίαστρο για ανοίγματα νότιου προσανατολισμού

Το εύρος της λωρίδας σκίασης από μια κατακόρυφη προεξοχή καθ' ύψος του παραθύρου υπολογίζεται από τη σχέση:

[Εύρος σκιάς κατακόρυφης προεξοχής] = (βάθος προεξοχής)·tanγ, όπου γ το αζιμούθιο επιφάνειας – ηλίου.

Το εύρος της λωρίδας σκίασης υαλοπίνακος, η οποία προκαλείται από μια οριζόντια προεξοχή υπολογίζεται από τη σχέση:

[Εύρος σκίασης οριζόντιας προεξοχής] = (βάθος προεξοχής)· $\frac{\tan \beta}{\cos \gamma}$, όπου β το ηλιακό ύψος.



Σχ. 4 Σκιαζόμενη επιφάνεια σε υαλοπίνακα με οριζόντια και κατακόρυφη προεξοχή

Τα κινητά σκίαστρα είναι τέντες, περσίδες, κουρτίνες και ρολά. Το πλεονέκτημα των κινητών σκιάστρων είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σαν κινητή μόνωση κατά την περίοδο του καλοκαιριού. Ένα από τα πιο απλά συστήματα κινητής σκίασης είναι η τέντα η οποία περιορίζει το θερμικό κέρδος μέχρι και 65% κατά το θέρος στις νότιες όψεις και μέχρι 80% στις ανατολικές και δυτικές επιφάνειες. Η αποτελεσματικότητα της υφασμάτινης τέντας περιορίζεται πολλές φορές λόγω φθοράς της από τις καιρικές συνθήκες.

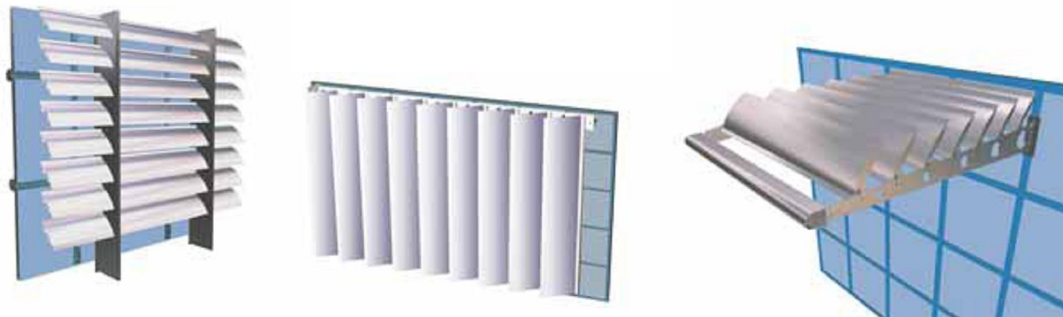
Τα πλέον διαδεδομένα κινητά συστήματα σε εμπορικά κτήρια και κτήρια γραφείων είναι συστήματα με κινητές περσίδες. Τα συστήματα αυτά δίνουν το μεγαλύτερο δυνατό έλεγχο, επιτρέποντας στο κτήριο να αντιδρά στις εξωτερικές αλλαγές (π.χ. συννεφιά). Η κίνηση είναι περιστροφική για κάθε περσίδα, με βήμα ανά μοίρες ή απεριόριστα και επιτυγχάνεται χειροκίνητα (π.χ. μανιβέλα, διακόπτης) ή ηλεκτροκίνητα. Στη δεύτερη περίπτωση, ο έλεγχος είναι αυτόματος και γίνεται με υπολογισμό της τροχιάς του ηλίου (πρόγραμμα με αλγορίθμους), με αισθητήρες φωτός στις περσίδες, ακόμα και με εξελιγμένο αμορτισέρ (υδραυλικό σύστημα).

Η οριζόντια τοποθέτηση πάνω από τον υαλοπίνακα, κάνει το σύστημα να λειτουργεί ως πρόβολος. Η σκίαση εξαρτάται από το συνολικό μήκος του προβόλου και τη γωνία που σχηματίζουν οι περσίδες με την οριζόντιο. Το σύστημα είναι σχετικά απλό και ενδείκνυται για νότιο προσανατολισμό. Η κατακόρυφη τοποθέτηση, δημιουργεί ένα επίπεδο έξω από την τελική επιφάνεια του κτηρίου. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ουσιαστικά ένα νέο κέλυφος, μια επιδερμίδα που στηρίζεται σε μεταλλικό σκελετό σε απόσταση τουλάχιστον 40 – 60 εκ. από την εξωτερική επιφάνεια. Δημιουργείται έτσι μια ζώνη που επιτρέπει την κυκλοφορία του αέρα και την απαγωγή της δημιουργούμενης θερμότητας, συμβάλλοντας στο δροσισμό. Αυτό το είδος πετάσματος χρησιμοποιείται συχνά σε ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό. Ο κατά μήκος άξονας των περσίδων

είναι οριζόντιος ή κατακόρυφος, ενώ κατασκευαστικά είναι δυνατόν να γίνει και υπό γωνία με κατάλληλη μελέτη. Η προστασία από τον ήλιο και ο έλεγχος του φυσικού εξαρτώνται από το από το υλικό, το σχήμα, το μέγεθος και το χρώμα των περσίδων αλλά και από την κλίση τους σε συνδυασμό με την αξονική τους απόσταση.

Κάθε σύστημα περσίδων έχει το ανάλογο σύστημα στήριξης (πλαίσια, οδηγοί, δοκοί), που αποτελεί στατικό μέρος του κτηρίου ή είναι ανεξάρτητο, είναι εμφανές ή μη, ίδιου ή συνεργαζόμενου υλικού και συνοδεύεται από εξαρτήματα σύνδεσης και τελειώματα. Το σχήμα των περσίδων είναι πτερυγόμορφο, ελλειψοειδούς μορφής, γεγονός που είναι άμεσα συνδεδεμένο με την ανακλαστική ικανότητα και τον τρόπο παραγωγής (διέλαση). Η ποικιλία μορφής των περσίδων, μεγεθών, διάταξης, κλίσης, τρόπου τοποθέτησης και χρωμάτων, προσφέρει πολλές επιλογές στην εξωτερική μορφή των κτιρίων αλλά και στο εσωτερικό με την ανάκλαση του φυσικού φωτός συμβάλλοντας στην οπτική άνεση.

Τα κινητά σκίαστρα μπορούν να είναι είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά. Διάφοροι τύποι σκιάστρων φαίνονται στο Σχ.5 και Σχ.6.



Σχ. 5 (α) Κάθετα, (β) οριζόντια (γ) προβολικά κινητά σκιάδια

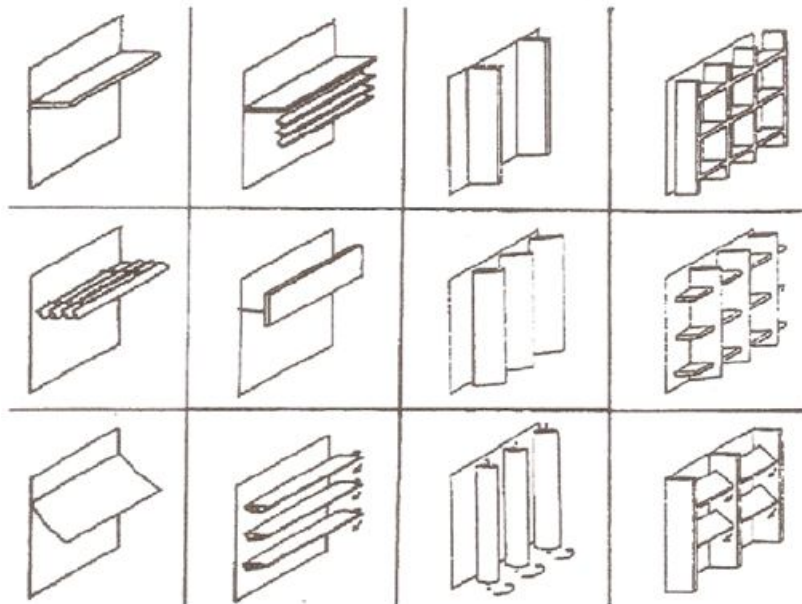
Τα εσωτερικά σκίαστρα είναι λιγότερο αποτελεσματικά σε σχέση με τα εξωτερικά διότι το φως του ήλιου εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο και σταματά στο σκίαστρο. Για να μην παρατηρείται όμως αύξηση της θερμοκρασίας μέσα στο δωμάτιο θα πρέπει το φως του ήλιου να ανακλάται πάλι πίσω μέσω του παραθύρου. Όμως είναι αδύνατο να επιτευχθεί το 100% της ανάκλασης του φωτός, επομένως ένα μέρος της ηλιακής ενέργειας θα απορροφηθεί και θα μεταφερθεί υπό τη μορφή θερμότητας στο εσωτερικό του κτιρίου. Για το λόγο αυτό όταν υπάρχουν εσωτερικά σκίαστρα δεν πρέπει να έχουν σκούρο χρώμα. Τα εξωτερικά σκίαστρα αποδίδουν όση ενέργεια έχουν απορροφήσει στον εξωτερικό αέρα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της αποτελεσματικότητάς τους κατά 30% σε σχέση με αυτή των εσωτερικών σκιάστρων. Όμως, τα εσωτερικά σκίαστρα έχουν πιο χαμηλό κόστος και είναι πιο εύκολα στο χειρισμό τους. Συνήθεις τύποι εσωτερικών σκιάστρων αποτελούν τα ενετικά στορ και τα ρολά σκίασης. Στον ακόλουθο πίνακα δίνονται οι οπτικές ιδιότητες αντιπροσωπευτικών συσκευών εσωτερικής σκίασης.

Πίνακας 2: Οπτικές ιδιότητες αντιπροσωπευτικών συσκευών εσωτερικής σκίασης

Indoor Shade	Solar-Optical Properties (Normal Incidence)		
	Trans.	Reflect.	Absorp.
Venetian Blinds ^a (ratio of slat width to slat spacing 1.2, slat angle 45 deg)			
Light Colored Slat	0.05	0.55	0.40
Medium Colored Slat	0.05	0.35	0.60
Vertical Blinds			
White Louvers	0.00	0.77	0.23
Roller Shades			
Light Shades (Translucent)	0.25	0.60	0.15
White Shade (Opaque)	0.00	0.80	0.20
Dark Colored Shade (Opaque)	0.00	0.12	0.88

^a Values in this table and preceding tables are based on horizontal venetian blinds. However, tests show these values can be used for vertical blinds with good accuracy.

Η επιλογή του κατάλληλου σκιάστρου είναι σημαντική και αρκετά δύσκολη διαδικασία αφού εξαρτάται τόσο από τις ανάγκες του κτιρίου και τη στρατηγική που ακολουθείται για τη διαμόρφωση της θερμικής και ενεργειακής του συμπεριφοράς όσο και από το κόστος για την τοποθέτηση του. Ακόμα πρέπει να συνδυάζονται τα συστήματα σκίασης με τον επαρκή φωτισμό και αερισμό των εσωτερικών χώρων.



Σχ. 6 Τύποι εξωτερικών σκιάστρων

Η ύπαρξη μεγάλων δέντρων γύρω από κτίριο παρέχει σκίαση κατά την διάρκεια της ημέρας και λόγω της εξατμοδιαπνοής τους, απορροφούν θερμότητα από τον αέρα με αποτέλεσμα την επίτευξη πιο χαμηλών θερμοκρασιών. Η θέση και η πυκνότητα του φυλλώματος είναι κύριοι παράγοντες για τη χρήση βλάστησης για σκίαση. Τα δέντρα που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι τα φυλλοβόλα διότι κατά τον χειμώνα δεν εμποδίζουν τα ηλιακά κέρδη και ταυτόχρονα παρέχουν καλύτερη διέλευση του φυσικού φωτισμού. Οι παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τη σκίαση της κατοικίας από δέντρα είναι η μορφολογία και η εξωτερική υφή του εδάφους, το κλίμα, το μέγεθος που καταλαμβάνουν όταν αυτά μεγαλώσουν και η περιποίηση τους.

2 Περιγραφή του Υπολογιστικού Πακέτου TRNSYS

2.1 Γενικά

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 παγκοσμίως για την αξιολόγηση νέων ενεργειακών συστημάτων για διάφορες χρήσεις. Από ένα απλό σύστημα θέρμανσης νερού μέχρι τον σχεδιασμό και την προσομοίωση κτηρίων και του εξοπλισμού τους, συμπεριλαμβανομένων των στρατηγικών ελέγχου, την συμπεριφορά κατοίκων και συστήματα εναλλακτικών πηγών ενέργειας (άνεμος, ήλιος, φωτοβολταϊκά, συστήματα υδρογόνου κτλ).

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του TRNSYS είναι το γεγονός ότι ο πηγαίος κώδικας, ο πυρήνας του προγράμματος καθώς και ο κώδικας των διαφόρων μοντέλων που περιλαμβάνει το TRNSYS, δίνονται στον χρήστη ο οποίος μπορεί να τα τροποποιήσει κατάλληλα ώστε να εξυπηρετεί καλύτερα τις δικές του ανάγκες. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής νέων μοντέλων που μπορεί να κατασκευάσει ο ίδιος ο χρήστης ή άλλοι προγραμματιστές χρησιμοποιώντας κοινές γλώσσες προγραμματισμού (C, C++, PASCAL, FORTRAN κ.α.). Αυτό είναι δυνατόν χάρη στην αρχιτεκτονική του προγράμματος η οποία είναι βασισμένα στα αρχεία DLL. Επιπλέον, το TRNSYS μπορεί να συνδεθεί εύκολα με πολλές άλλες εφαρμογές για επεξεργασία πριν, μετά ή κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης (π.χ. Microsoft Excel, Matlab, COMIS κτλ.). Το TRNSYS συμπεριλαμβάνει τις ακόλουθες εφαρμογές:

- Ηλιακά συστήματα (θερμικά ηλιακά και φωτοβολταϊκά)
- Συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Συμπαραγωγή. Κυψέλες καυσίμου
- Οτιδήποτε απαιτεί δυναμική προσομοίωση

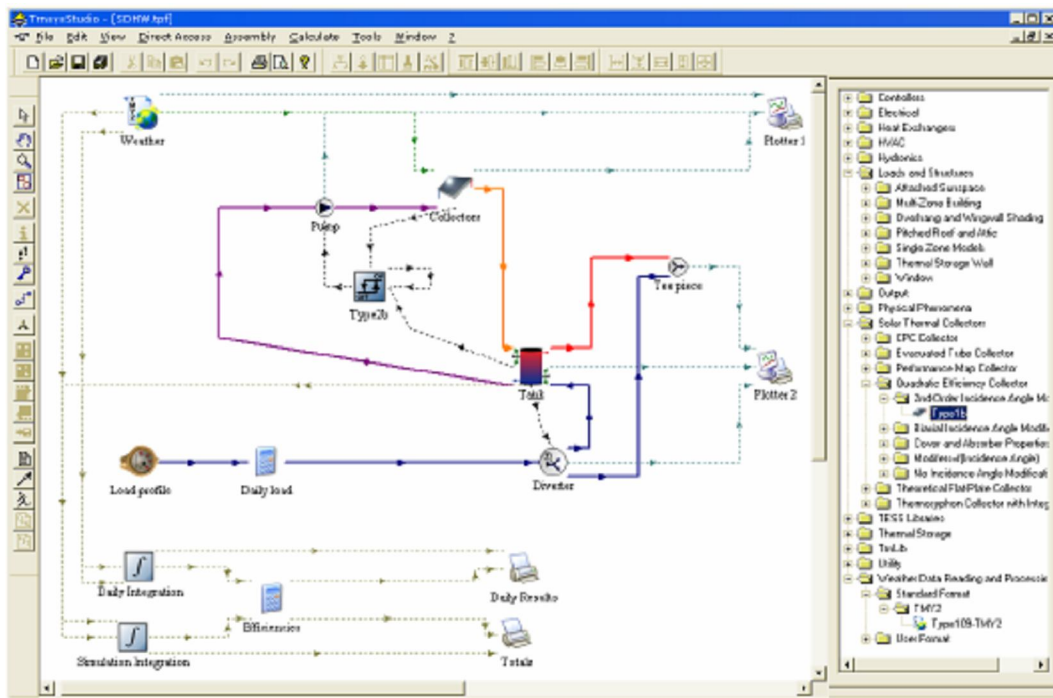
Το TRNSYS αποτελείται από το σύνολο των ακόλουθων προγραμμάτων: Το στούντιο προσομοίωσης (TRNSYS Simulation Studio) και το εκτελέσιμο αρχείο του (TRNExe.exe), το γραφικό περιβάλλον διεπαφής κτηρίου, για την εισαγωγή των δεδομένων κτηρίων (TRNBuild.exe), και τον επεξεργαστή με τον οποίο μπορούν να δημιουργηθούν αυτόνομα προγράμματα, γνωστά ως “TRNSED εφαρμογές” (TRNEdit.exe).

2.2 Στούντιο προσομοίωσης.

2.2.1 Γενική περιγραφή

Το κεντρικό γραφικό περιβάλλον του TRNSYS αποτελεί το στούντιο προσομοίωσης. Σε αυτό δημιουργούνται τα προγράμματα της προσομοίωσης “ρίχνοντας” με το ποντίκι στο παράθυρο εργασίας τα επιλεγόμενα μοντέλα, συνδέοντάς τα και θέτοντας τις μεταβλητές της προσομοίωσης. Τα μοντέλα παριστάνονται με τα εικονίδιά τους στο παράθυρο εργασίας.

Το στούντιο προσομοίωσης δημιουργεί το αρχείο με τα δεδομένα του προγράμματος προσομοίωσης του χρήστη (*.tpf). Επίσης δημιουργεί αρχείο εισόδου, το οποίο είναι ένα αρχείο κειμένου που περιέχει όλες τις πληροφορίες της προσομοίωσης.



Σχ. 7: Στούντιο προσομοίωσης του TRNSYS

Το στούντιο προσομοίωσης περιλαμβάνει επίσης έναν διαχειριστή των εξόδων του προγράμματος, με τον οποίο ο χρήστης μπορεί να καθορίσει ποιές μεταβλητές θα συμπεριληφθούν στις εξόδους, ποιές θα εκτυπωθούν και ποιές θα χρησιμοποιηθούν στα διαγράμματα. Τέλος περιλαμβάνει έναν καταγραφέα/ διαχειριστή σφαλμάτων ο οποίος επιτρέπει την λεπτομερή μελέτη των γεγονότων κατά τη διάρκεια μίας προσομοίωσης.

Τέλος, πολλές επιπρόσθετες εργασίες μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσα από το στούντιο προσομοίωσης, όπως η δημιουργία νέων υπολογιστικών μοντέλων προς εισαγωγή στο TRNSYS χρησιμοποιώντας την επιλογή “Fortran Wizard” καθώς επίσης η ανάγνωση των εξαγόμενων αρχείων, η επεξεργασία της περιγραφής ενός

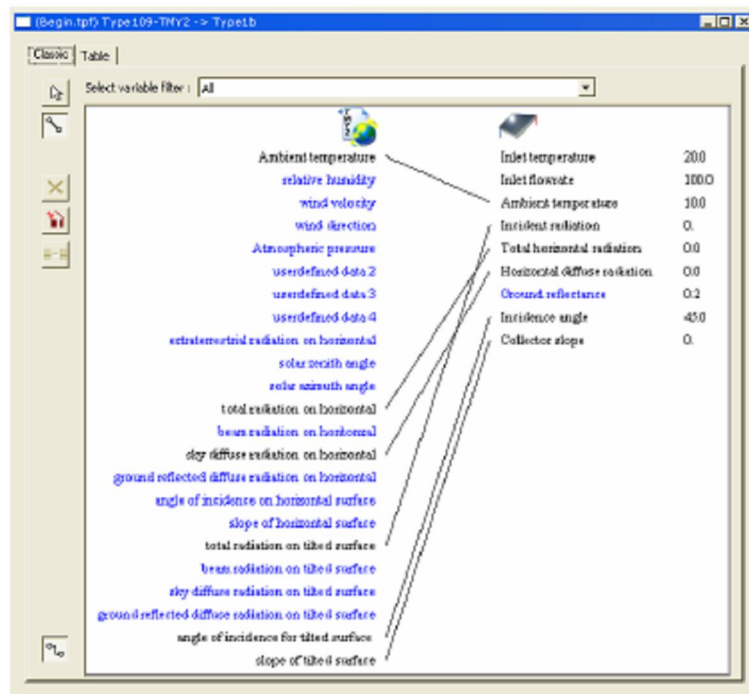
μοντέλου τροποποιώντας τις παραμέτρους, τις εισόδους και τις εξόδους του μοντέλου κτλ.

2.2.2 Ρύθμιση των επιλεγμένων μοντέλων της προσομοίωσης

Η ρύθμιση των μοντέλων της προσομοίωσης γίνεται κάνοντας διπλό κλικ στο εικονίδιο του μοντέλου. Έτσι ανοίγει ένα παράθυρο με τις καρτέλες του μοντέλου. Όλα τα μοντέλα έχουν τις εξής καρτέλες: παραμέτρων, εισόδων, εξόδων και παραγώγων. Από τις καρτέλες αυτές ρυθμίζονται οι τιμές όλων των στοιχείων του μοντέλου. Οι τιμές των εισόδων παραβλέπονται αν το μοντέλο συνδεθεί με κάποιο άλλο μοντέλο.

2.2.3 Συνδέσεις

Η σύνδεση των μοντέλων γίνεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο της σύνδεσης στα αριστερά του παραθύρου εργασίας και επιλέγοντας τα δύο στοιχεία που επιθυμούμε να συνδέσουμε. Κάνοντας διπλό κλικ στην γραμμή σύνδεσης μεταξύ των δύο μοντέλων ανοίγει ένα παράθυρο στο οποίο μπορούν να επιλεγούν ποιές έξοδοι του ενός μοντέλου θα συνδεθούν με τις εισόδους του άλλου.



Σχ. 8: Παράδειγμα παραθύρου συνδέσεων

2.2.4 Εκτέλεση προσομοίωσης και ανάγνωση αποτελεσμάτων.

Η προσομοίωση εκτελείται πληκτρολογώντας “F8” ή κάνοντας κλικ στην συντόμευση “Calculate/Run” στα αριστερά του παραθύρου εργασίας. Εάν στο πρόγραμμα της προσομοίωσης έχει προστεθεί τουλάχιστον ένα μοντέλο ταυτόχρονης δημιουργίας διαγραμμάτων (Online Plotter), εμφανίζεται ένα διάγραμμα κατά τη διάρκεια των υπολογισμών της προσομοίωσης. Το μοντέλο αυτό παρέχει πολλές δυνατότητες που χρησιμεύουν στην ανάλυση των αποτελεσμάτων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης και αφού αυτή περατωθεί. Ενδεικτικά κάποιες από αυτές τις δυνατότητες είναι η παύση, το σταμάτημα και η επανέναρξη της προσομοίωσης, η απόκρυψη και η εμφάνιση μιας μεταβλητής στο διάγραμμα, η επιλογή χρωμάτων και η προσαρμογή των αξόνων του διαγράμματος καθώς και η μεγέθυνση ενός μέρους του διαγράμματος.

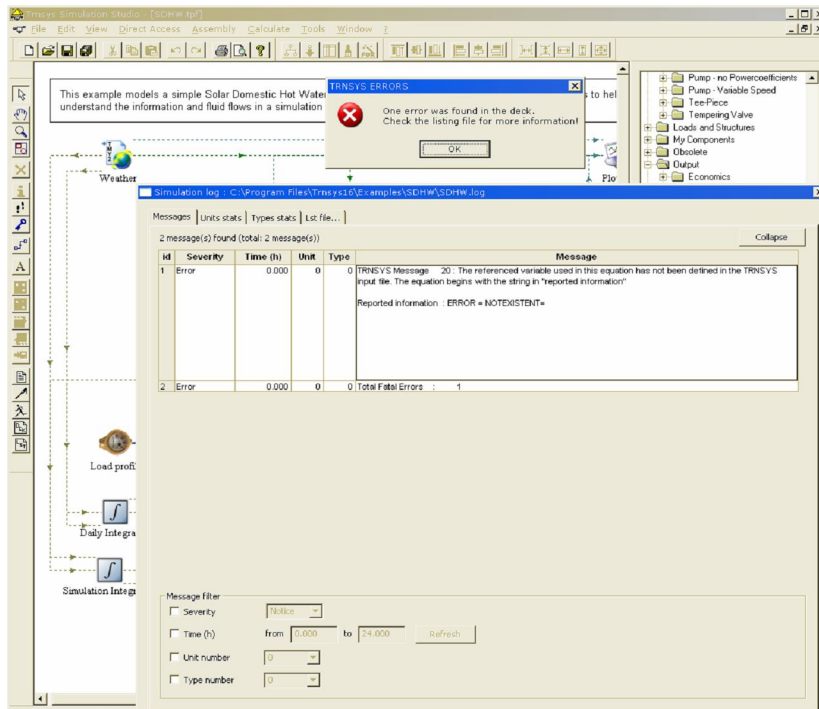


Σχ. 9: Διάγραμμα κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης και μεγέθυνση μέρους του διαγράμματος

Στην περίπτωση που έχει προστεθεί μοντέλο εκτυπωτή στην προσομοίωση, οι έξοδοι εκτυπώνονται σε ένα αρχείο εξόδου το οποίο μπορεί να ανοιχθεί μέσω του στούντιο προσομοίωσης κάνοντας κλικ στο "Calculate/ Open/ External Files" στο επάνω μέρος του παραθύρου εργασίας.

2.2.5 Ανάλυση σφαλμάτων κατά την προσομοίωση

Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης δημιουργείται αρχείο καταγραφής γεγονότων στο οποίο καταγράφονται εκτός των άλλων και τα σφάλματα που προκύπτουν κατά την προσομοίωση. Το στούντιο προσομοίωσης παρέχει πρόσβαση στο αρχείο αυτό μέσω του διαχειριστή σφαλμάτων. Το παράθυρο του διαχειριστή σφαλμάτων εμφανίζεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “LST” στα αριστερά του παραθύρου εργασίας. Στο παράθυρο αυτό εμφανίζονται όλα τα σφάλματα και οι προειδοποιήσεις που προέκυψαν καθώς και σχετικά στατιστικά στοιχεία. Επίσης μπορεί να ανοιχθεί το αρχείο “Listing file”, το οποίο δημιουργείται κατά την προσομοίωση και περιέχει και αυτό όλα τα σφάλματα που προκύπτουν καθώς και μια επανάληψη του αρχείου εισόδου του TRNSYS (deck) μαζί με επιπρόσθετες εξόδους.



Σχ. 10: Ο διαχειριστής σφαλμάτων

2.3 Γραφικό περιβάλλον εισαγωγής στοιχείων κτηρίου (TRNBuild)

2.3.1 Γενική περιγραφή

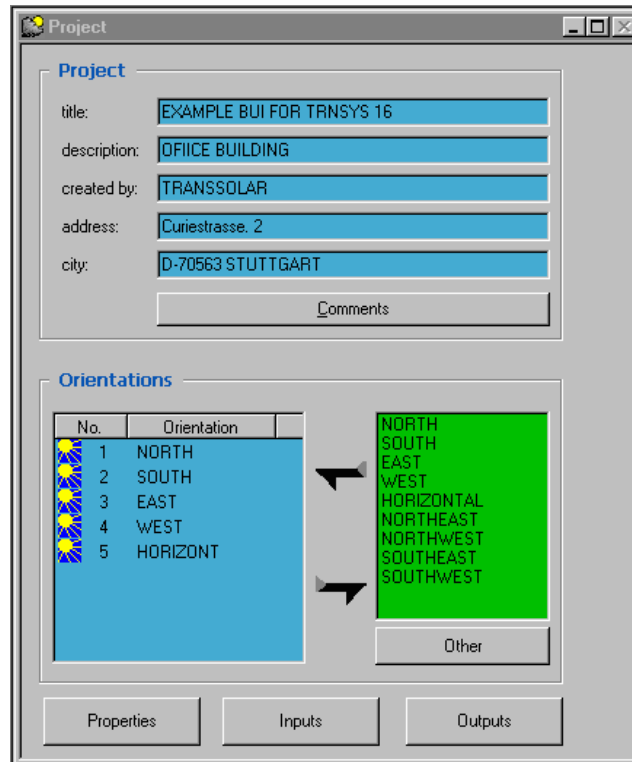
Το TRNBuild είναι το πρόγραμμα εισαγωγής των δεδομένων ενός πολυζωνικού κτηρίου. Επιτρέπει στον χρήστη τον λεπτομερή καθορισμό όλων των κατασκευαστικών στοιχείων του κτηρίου, καθώς και ότι χρειάζεται για τον καθορισμό της θερμικής του συμπεριφοράς, όπως οι οπτικές ιδιότητες των παραθύρων, το πρόγραμμα ψύξης και θέρμανσης που εφαρμόζεται στο κτήριο κτλ.

2.3.2 Επεξεργασία των στοιχείων του κτηρίου

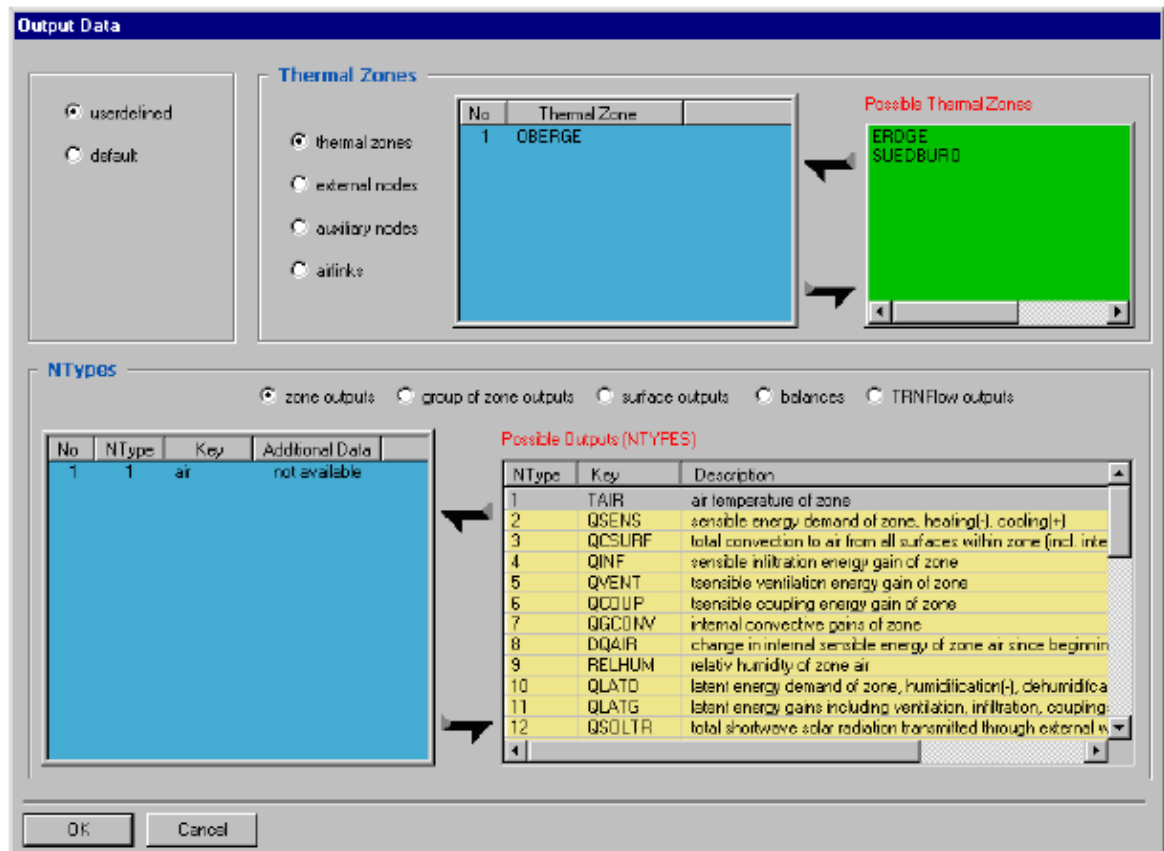
Το μοντέλο του πολυζωνικού κτηρίου εμπλέκει πολλές παραμέτρους ώστε να έχει ένα τυπικό αρχείο περιγραφής όπως τα υπόλοιπα μοντέλα του TRNSYS. Έτσι κάθε κτήριο που δημιουργεί ο χρήστης έχει το δικό του ειδικό αρχείο περιγραφής με επέκταση .bui. Ο καθορισμός των στοιχείων του κτηρίου γίνεται κάνοντας δεξιά κλικ στο εικονίδιο του κτηρίου και επιλέγοντας “Edit Building”. Με τον τρόπο αυτό εκκινεί το πρόγραμμα TRNBuild και ανοίγει το αρχείο περιγραφής του κτηρίου.

Μέσω του TRNBuild καθορίζονται αρχικά οι γενικές παράμετροι του κτηρίου από την καρτέλα “Project” και οι θερμικές ζώνες. Στην καρτέλα “Project” ορίζονται:

- i. Ιδιότητες του κτηρίου. Οι ιδιότητες περιλαμβάνουν τις τιμές σταθερών όπως αυτή του Stephan Boltzmann, την πυκνότητα του αέρα καθώς και τιμές συντελεστών για τον υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας. Οι συντελεστές είναι της μορφής $\alpha_{conv} = \text{const}(T_{surf} - T_{air})^{exp}$ και στην καρτέλα αυτή καθορίζονται οι συντελεστές const και exp για την καλύτερη προσαρμογή στα διάφορα θεωρητικά μοντέλα.
- ii. Οι επιτρεπτοί προσανατολισμοί για τους τοίχους και τα παράθυρα. Μπορούν να επιλεγθούν συνήθεις προσανατολισμοί που ήδη υπάρχουν ή να καθορισθούν νέοι δίνοντας ένα όνομα για τον προσανατολισμό και ορίζοντας νέες εισόδους στο μοντέλο για τον καθορισμό της ακτινοβολίας στον προσανατολισμό αυτό.
- iii. Οι επιθυμητές έξοδοι του μοντέλου του κτηρίου και οι επιπλέον εισοδοί. Οι επιπλέον εισοδοί ορίζονται στην περίπτωση που επιθυμούμε τον καθορισμό της τιμής μιας μεταβλητής από άλλο μοντέλο που χρησιμοποιείται στην προσομοίωση. Οι έξοδοι που μπορεί να έχει το μοντέλο του πολυζωνικού κτηρίου είναι πολλές και συγκεκριμένες και αφορούν κάθε ζώνη ξεχωριστά, ή ένα σύνολο ζωνών, κάθε επιφάνεια ξεχωριστά ή το σύνολο των επιφανειών και τέλος ενεργειακά ισοζύγια σε επιφάνειες ή ζώνες μεμονωμένα ή στο σύνολό τους.

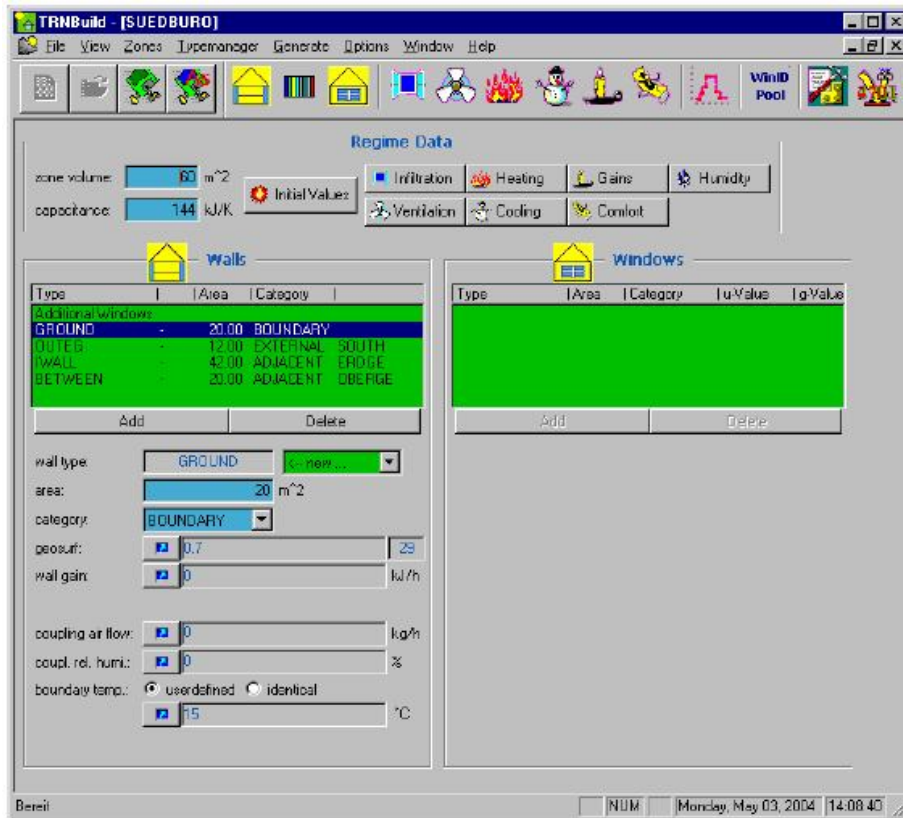


Σχ. 11: Το παράθυρο “Project” στο πρόγραμμα TRNBuild



Σχ. 12: Παράθυρο επιλογής εξόδων του TRNBuild

Επιλέγοντας μια θερμική ζώνη ανοίγει το παράθυρο επεξεργασίας της ζώνης.



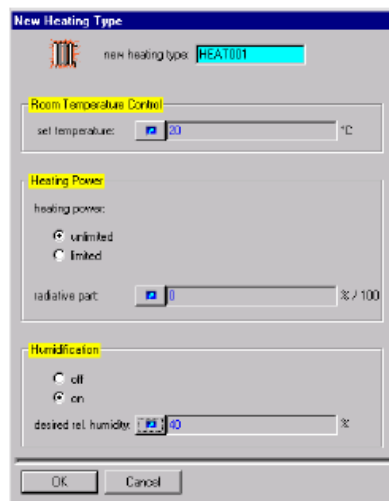
Σχ. 13: Το παράθυρο επεξεργασίας της ζώνης

Από το παράθυρο αυτό καθορίζονται:

- i. Τα δεδομένα των τοίχων. Τα δεδομένα για τους τοίχους εισάγονται στο αριστερό μέρος του παραθύρου, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Συγκεκριμένα καθορίζονται οι διαστάσεις, η κατηγορία (παρακείμενος σε άλλη ζώνη, εξωτερικός ή με οριακές συνθήκες), ο προσανατολισμός των τοίχων και το είδος (υλικά) του τοίχου. Εκτός από τα παραπάνω πρέπει να οριστούν ο συντελεστής θέασης του τοίχου από τον ουρανό, ο συντελεστής κατανομής της εισερχόμενης ακτινοβολίας (geosurf) και τυχόν επιπρόσθετα φορτία του τοίχου. Το είδος του τοίχου μπορεί να επιλεγεί από τις παρεχόμενες βιβλιοθήκες του TRNSYS ή να περιγραφεί από τον χρήστη μέσω του διαχειριστή τοίχων στο άνω μέρος του κεντρικού παραθύρου. Οι βιβλιοθήκες που παρέχει το TRNSYS περιλαμβάνουν: α) Την βασική βιβλιοθήκη, η οποία περιλαμβάνει συνηθισμένους τοίχους και οροφές, β) την γερμανική βιβλιοθήκη με τοίχους κατασκευασμένους σύμφωνα με το γερμανικό VDI 2078, γ) την αμερικάνικη βιβλιοθήκη η οποία περιλαμβάνει 144 τοίχους κατασκευασμένους στα πρότυπα της ASHRAE.
- ii. Τα δεδομένα των παραθύρων. Τα παράθυρα μπορούν να τοποθετηθούν ε εξωτερικούς τοίχους και σε τοίχους παρακείμενους σε άλλες ζώνες. Τα δεδομένα εισάγονται στο δεξιό μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης, απ' όπου καθορίζονται η θέση, οι διαστάσεις το είδος των παραθύρων και ο μηχανισμός σκίασης. Επίσης καθορίζεται ο

συντελεστής θέασης του παραθύρου από τον ουρανό, τυχόν επιπρόσθετα φορτία και τέλος ο προσανατολισμός στην περίπτωση παρακείμενων σε άλλη ζώνη τοίχων ο οποίος μπορεί να είναι ο προσανατολισμός της πρόσθιας ή της οπίσθιας επιφάνειας του τοίχου. Το είδος του παραθύρου επιλέγεται από τις παρεχόμενες βιβλιοθήκες του TRNSYS η καθορίζεται εκ νέου από τον χρήστη. Οι παρεχόμενες βιβλιοθήκες είναι: α) η γερμανική, η οποία περιλαμβάνει 14 συνηθισμένα παράθυρα κατασκευασμένα με τις Γερμανικές προδιαγραφές, καθώς και παράθυρα με στοιχεία που πάρθηκαν από τις εταιρίες Pilkington, Saint Gobain, Interpane, και Luxguard β) η Αμερικάνικη, η οποία περιλαμβάνει παράθυρα με προδιαγραφές της ASHRAE. Και οι δύο βιβλιοθήκες έχουν δημιουργηθεί με χρήση του προγράμματος WINDOWS 4.1 που αναπτύχθηκε από το Lawrence Berkeley Laboratory.

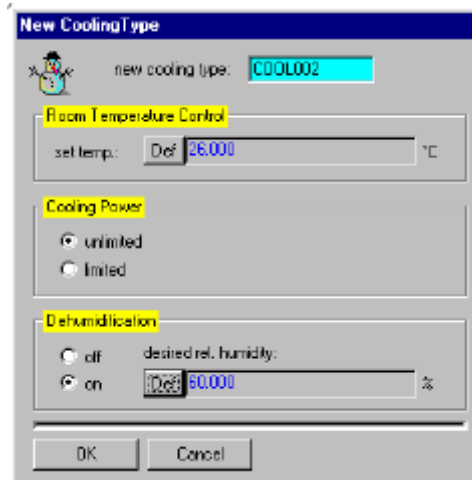
- iii. Η μέθοδος θέρμανσης κάθε ζώνης. Η ενεργειακή απαίτηση μιας ζώνης σε θέρμανση εξαρτάται από την στρατηγική που θα επιλεγεί για τη θέρμανση της ζώνης η οποία καθορίζεται από τη μέθοδο που θα επιλέξει ο χρήστης. Αν ο εξοπλισμός θέρμανσης μοντελοποιείται εξωτερικά του μοντέλου 56 τότε δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί η λειτουργία αυτή, αλλά να ορισθούν ως είσοδοι στο μοντέλο 56 η θερμοκρασία, η υγρασία και οι εναλλαγές του αέρα που υπολογίζονται από το μοντέλο του εξοπλισμού ή εναλλακτικά να ορισθούν ως κέρδη της ζώνης η θερμότητα δια συναγωγής και ακτινοβολίας που παρέχεται από τον εξοπλισμό. Με τη μέθοδο θέρμανσης υπολογίζεται η απαιτούμενη ενέργεια στην περίπτωση ιδανικής λειτουργίας του εξοπλισμού. Η επιλογή της μεθόδου θέρμανσης γίνεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Heating” στο άνω μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης. Στο παράθυρο που εμφανίζεται είτε επιλέγεται μια ήδη υπάρχουσα μέθοδο είτε δημιουργείται νέα επιλέγοντας “New”. Στην δεύτερη περίπτωση ο χρήστης εισάγει την επιθυμητή θερμοκρασία του δωματίου κάτω από την οποία λειτουργεί η θέρμανση στη ζώνη, την μέγιστη ισχύ που μπορεί να παραχθεί για θέρμανση μαζί με το ποσοστό αυτής που δίδεται με ακτινοβολία και τέλος αν επιθυμείται υγραποίηση του αέρα στη ζώνη. Στην περίπτωση που επιλεγεί η υγραποίηση του αέρα πρέπει να οριστεί η επιθυμητή σχετική υγρασία στη ζώνη.



Σχ. 14: Παράθυρο καθορισμού νέας μεθόδου θέρμανσης της ζώνης

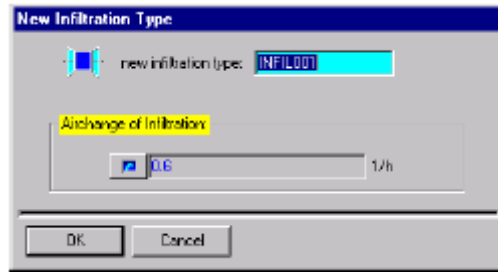
Συνήθως στην πραγματικότητα η θέρμανση δεν λειτουργεί ασταμάτητα. Για να είναι η προσομοίωση πιο κοντά στην πραγματικότητα πρέπει να ορισθεί ένα πρόγραμμα λειτουργίας. Αυτό ορίζεται έμμεσα θέτοντας χρονοδιάγραμμα της επιθυμητής θερμοκρασίας της ζώνης σε κάθε χρονική στιγμή. Ο τρόπος εισαγωγής χρονοδιαγραμμάτων αναλύεται παρακάτω.

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



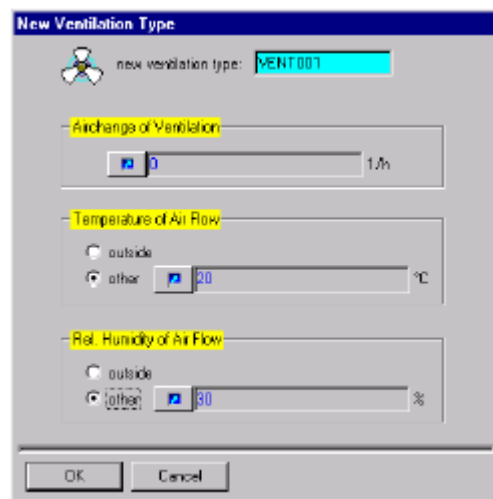
Σχ. 15: Παράθυρο καθορισμού νέας μεθόδου ψύξης.

- v. Η διείσδυση του αέρα. Καθορίζεται το αν θα συνυπολογιστεί για τη συγκεκριμένη ζώνη το φορτίο από τη διείσδυση του αέρα. Επιλέγεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Infiltration” στο άνω μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης. Στο παράθυρο που ανοίγει επιλέγεται μια προϋπάρχουσα μέθοδος ή δημιουργείται νέα. Για τον καθορισμό της μεθόδου απαιτείται ο ρυθμός εναλλαγών αέρα. Ο αέρας εισέρχεται με την θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του περιβάλλοντος.



Σχ. 16: Παράθυρο διείσδυσης αέρα

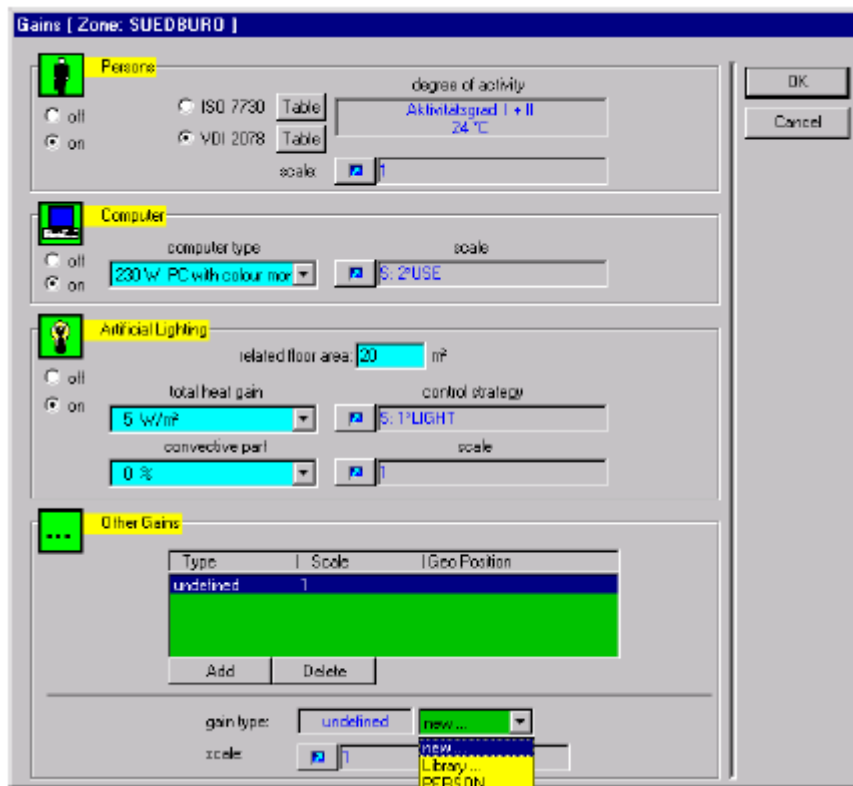
- vi. Η μέθοδος αερισμός κάθε ζώνης. Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να καθορισθεί η εισροή αέρα από οποιαδήποτε πηγή (π.χ. από ένα κλιματιστικό). Ο ορισμός μεθόδου αερισμού είναι προαιρετικός και πραγματοποιείται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Ventilation” στο άνω μέρος του παραθύρου. Μπορεί να επιλεγεί μια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



Σχ. 17: Παράθυρο ορισμού μεθόδου αερισμού της ζώνης

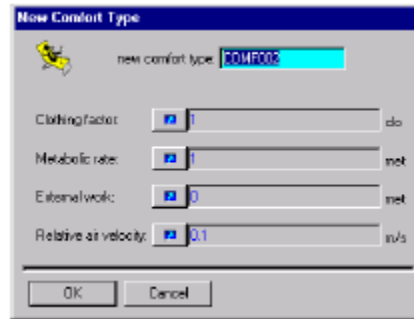
- vii. Τα εσωτερικά φορτία κάθε ζώνης. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα φορτία ανθρώπων, υπολογιστών, φωτισμού καθώς και κάθε άλλο φορτίο που ορίζεται από το χρήστη. Ο ορισμός των φορτίων γίνεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Gains” στο άνω μέρος του παραθύρου. Το παράθυρο που εμφανίζεται είναι διαμορφωμένο έτσι ώστε να διευκολύνεται η εισαγωγή των φορτίων ανθρώπων υπολογιστών και φωτισμού. Για το φορτίο των ανθρώπων δίνεται πίνακας για την εργασία που εκτελούν τα άτομα στο χώρο με βάση τις προδιαγραφές ISO 7730 ή VDI 2078. Για τους υπολογιστές καθορίζεται από λίστα η ισχύς τους και το αν έχουν ή όχι έγχρωμη οθόνη. Τέλος για τον τεχνητό φωτισμό

επιλέγεται από λίστα η εγκατεστημένη ισχύς σε watt/m^2 και το είδος του λαμπτήρα μαζί με το μέρος της ισχύς που μεταδίδεται στον αέρα μέσω συναγωγής. Το πεδίο “scale” αναφέρεται στον αριθμό ατόμων ή υπολογιστών ενώ στην περίπτωση του φωτισμού λαμβάνει τιμές 0 ή 1 ορίζοντας έτσι το πότε ανάβει και σβήνει ο φωτισμός. Εναλλακτικά για τον φωτισμό μπορεί να οριστεί στρατηγική έλεγχου από το αντίστοιχο πεδίο “control strategy”. Τα υπόλοιπα εσωτερικά κέρδη της ζώνης καθορίζονται στο κάτω μέρος του παραθύρου κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Add”. Ο ορισμός ενός κέρδους απαιτεί την εισαγωγή της ισχύος που μεταδίδεται στη ζώνη μέσω συναγωγής, ακτινοβολίας και της απόλυτης υγρασίας που παράγεται.



Σχ. 18: Παράθυρο ορισμού εσωτερικών φορτίων της ζώνης

- viii. Επιλογή συνυπολογισμού της θερμικής άνεσης σε μία ζώνη. Η θερμική άνεση είναι προαιρετική και ορίζεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Comfort” στο άνω μέρος του παραθύρου. Στο παράθυρο που ανοίγει απαιτείται εισαγωγή του συντελεστή ένδυσης ανάλογα με την ένδυση των ατόμων στο χώρο, του μεταβολικού ρυθμού ανάλογα με την δραστηριότητα των ατόμων στο χώρο, του εξωτερικού έργου, το οποίο συνήθως είναι περίπου μηδέν, και της σχετικής ταχύτητας του αέρα με τα άτομα στο χώρο. Το μοντέλο βασίζεται στις προδιαγραφές ISO 7730 και παρακάτω δίνονται πίνακες για τις τιμές του συντελεστή ένδυσης για συνηθισμένους τύπους ένδυσης και για τον μεταβολικό ρυθμό για συνηθεις εργασίες.



Σχ. 19: Παράθυρο ορισμού παραμέτρων για τον συνυπολογισμό της θερμικής άνεσης στη ζώνη

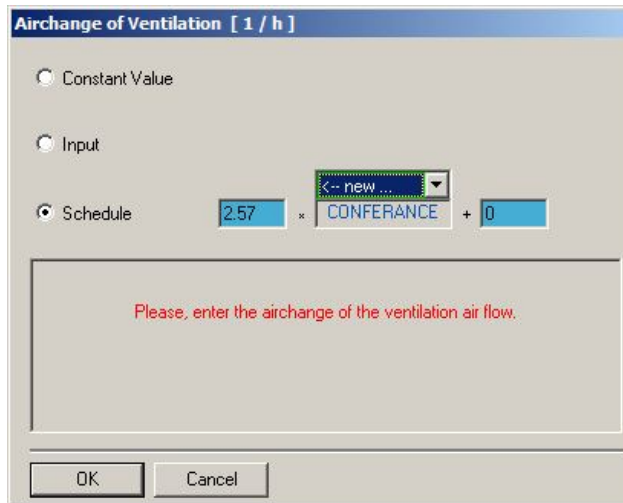
Πίνακας 3: Συντελεστής ένδυσης για συνήθεις τύπους ένδυσης

Clothing ensemble	Clothing factor [clo]
Nude	0
Shorts	0,1
Light summer clothing (long light-weight-trousers, open neck shirt with short sleeves)	0,5
Light working ensemble (Athletic shorts, woolen socks, cotton work shirt, work trousers)	0,6
Typical business suit	1,0
Typical business suit + Cotton coat	1,5
Light outdoor sportswear (Cotton shirt, trousers, T-shirt, shorts, socks, shoes, single ply poplin jacket)	0,9
Heavy traditional European business suit	1,5

Πίνακας 4: Μεταβολικός ρυθμός για συνήθεις δραστηριότητες

Degree of Activity	Metabolic rate [met] (acc. to EN ISO 7730)
Seated, relaxed	1,0
Seated, light work (office, home, school, laboratory)	1,2
Standing, light work (Shopping, laboratory, light factory work)	1,6
Standing, moderate work (Sale activity, housework, operating of a machine)	2,0
Walking, 2 km/h	1,9
Walking, 3 km/h	2,4
Walking, 4 km/h	2,8
Walking, 5 km/h	3,4

Κατά τον ορισμό μίας από τις παραπάνω μεθόδους, ο καθορισμός της τιμής μιας μεταβλητής (εκτός αυτών που επιλέγονται από λίστες ή πίνακες που παρέχει το TRNSYS) μπορεί να γίνει είτε δίνοντας μία σταθερή τιμή στη μεταβλητή, είτε ορίζοντας να διαβάζεται η τιμή από μία είσοδο στο μοντέλο 56, είτε τέλος ορίζοντας ένα χρονοδιάγραμμα για τις τιμές που λαμβάνει η μεταβλητή σε διάφορες χρονικές περιόδους. Στην περίπτωση χρήσης χρονοδιαγράμματος η τιμή καθορίζεται υπό την ακόλουθη μορφή: $x = a \cdot \text{schedule} + b$, όπου x η τιμή της μεταβλητής, schedule το χρονοδιάγραμμα που χρησιμοποιείται και a , b συντελεστές που ορίζονται από τον χρήστη για τον καθορισμό της τιμής. Έτσι, αν θέλουμε η μεταβλητή να έχει τιμή 5 σε μία χρονική περίοδο και 2 σε κάθε άλλη περίπτωση, ορίζουμε με το χρονοδιάγραμμα στην περίοδο αυτή τιμή ίση με 1 και θέτουμε $a=3$ και $b=2$. Έτσι έχουμε στην περίοδο αυτή $x=3 \cdot 1+2=5$ και σε κάθε άλλη χρονική στιγμή $x=3 \cdot 0+2=2$. Τα χρονοδιαγράμματα μπορεί να είναι ημερήσια ή εβδομαδιαία και αναλύονται παρακάτω.



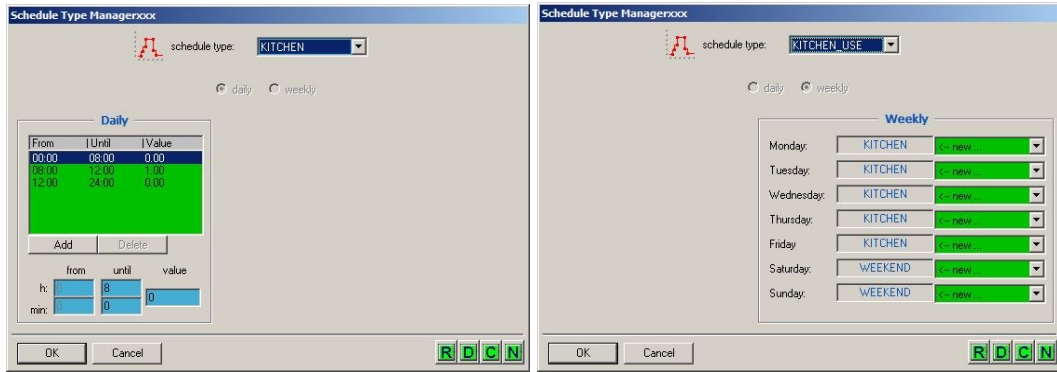
Σχ. 20: Παράδειγμα ορισμού του ρυθμού εναλλαγής αέρα σε μία ζώνη με χρήση χρονοδιαγράμματος.

2.3.3 Κεντρικό παράθυρο του προγράμματος TRNBuild

Στο άνω μέρος του κεντρικού παραθύρου του προγράμματος TRNBuild υπάρχουν τα εικονίδια των διαχειριστών διαφόρων τύπων. Αυτοί είναι οι διαχειριστές α) θέρμανσης, β) ψύξης, γ) αερισμού, δ) διείσδυσης αέρα, ε) εσωτερικών φορτίων στ) θερμικής άνεσης, ζ) τοίχων, η) παραθύρων, θ) στρώσεων υλικών των τοίχων, ι) χρονοδιαγραμμάτων. Από τους διαχειριστές αυτούς οι έξι πρώτοι χρησιμεύουν στην διαχείριση και στην επεξεργασία των μεθόδων των αντίστοιχων διεργασιών που έχουν εισαχθεί σε κάθε ζώνη. Μέσω των υπόλοιπων διαχειριστών δίδονται οι ακόλουθες επιλογές:

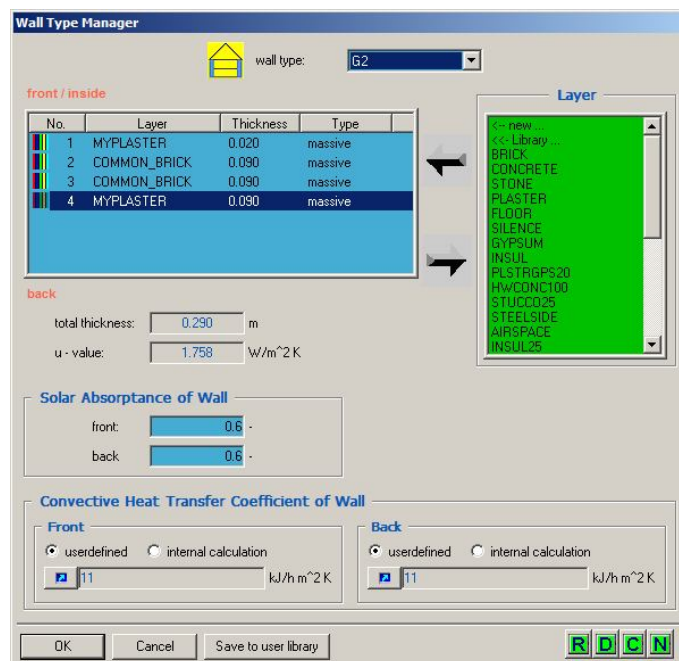
- i. Χρονοδιάγραμμα λειτουργίας των συσκευών θέρμανσης και ψύξης και χρονοδιάγραμμα έναρξης και λήξης της ισχύος των διαφόρων φορτίων. Μπορούν να ορισθούν ημερήσια και εβδομαδιαία προγράμματα. Στα ημερήσια επιλέγονται τα χρονικά διαστήματα κατά την διάρκεια της ημέρα όπου λαμβάνεται η τιμή 1 ή 0. Στα εβδομαδιαία επιλέγονται τα

ημερήσια προγράμματα που χρησιμοποιούνται κάθε μέρα στην περίοδο μιας βδομάδας. Στο κάτω μέρος του παραθύρου του διαχειριστή υπάρχουν τα εικονίδια R,D,C,N τα οποία χρησιμεύουν αντίστοιχα στην μετονομασία, διαγραφή, αντιγραφή και τη δημιουργία νέου χρονοδιαγράμματος.



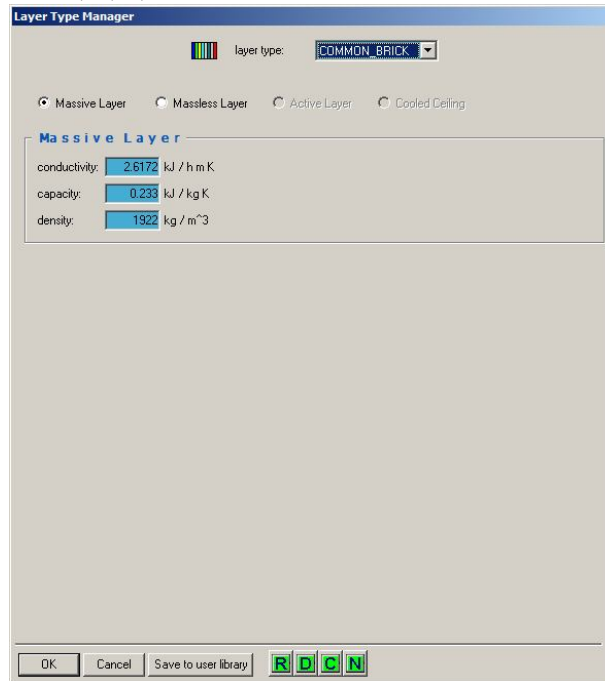
Σχ. 21: Καθορισμός α) ημερήσιου και β) Εβδομαδιαίου χρονοδιαγράμματος

- ii. Δημιουργία νέων τοίχων. Επιλέγοντας τον διαχειριστή τοίχων (wall type manager) ανοίγει ένα παράθυρο στο οποίο μπορεί να γίνει επεξεργασία ενός τοίχου ή να οριστεί ένας νέος. Αυτό γίνεται επιλέγοντας τις στρώσεις των υλικών που αποτελεί τον τοίχο, με το πάχος κάθε στρώσης, ορίζοντας τους συντελεστές απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας για τις δύο επιφάνειες του τοίχου και τέλος δίνοντας τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας για τις δύο επιφάνειες του τοίχου. Ο συντελεστής αυτός μπορεί να υπολογιστεί αν επιλεγεί από το πρόγραμμα. Στο παράθυρο φαίνεται το συνολικό πάχος του τοίχου και ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας που προκύπτει από την επιλογή των στρώσεων των υλικών και τα πάχη τους. Οι στρώσεις των υλικών εισάγονται από βιβλιοθήκη ή καθορίζονται νέες από τον χρήστη. Τέλος, υπάρχουν και πάλι τα εικονίδια R,D,C,N που αντιστοιχούν στις ίδιες ενέργειες με πριν.



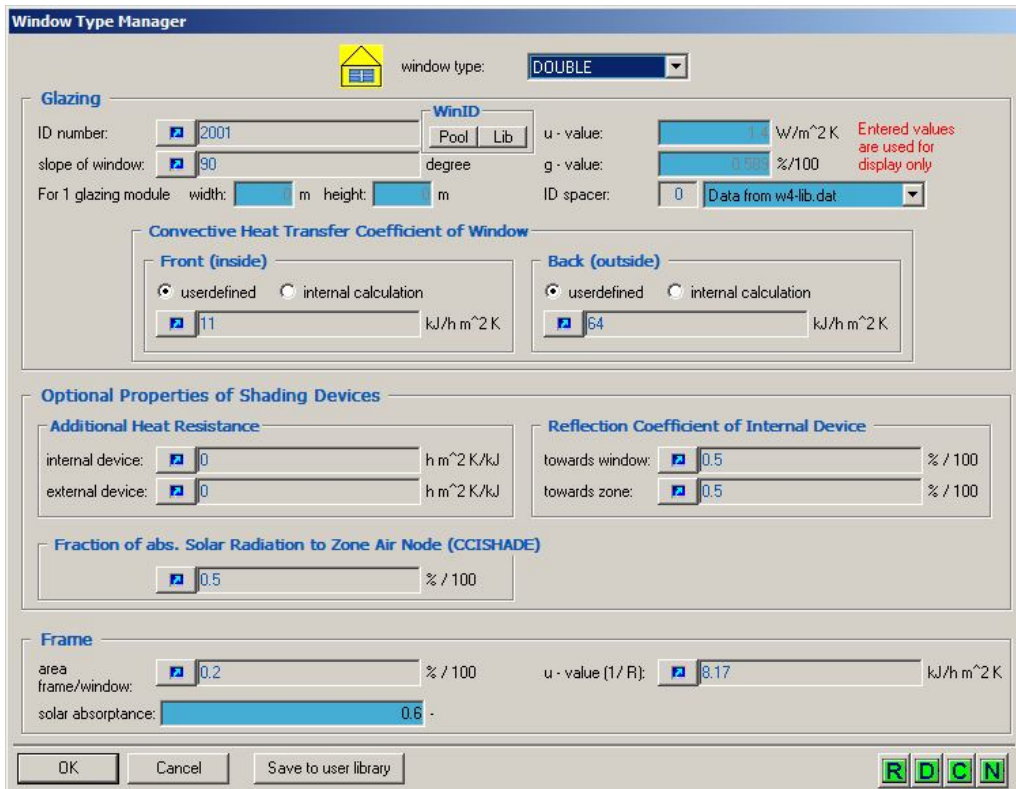
Σχ. 22: Παράθυρο του διαχειριστή τοίχων

- iii. Επεξεργασία και εισαγωγή νέων στρώσεων υλικών για τους τοίχους. Η ενέργειες αυτές γίνονται μέσω του διαχειριστή στρώσεων υλικών (Layer Type Manager). Στο παράθυρο του διαχειριστή επιλέγεται ένα υλικό και καθορίζεται η αγωγιμότητα του υλικού ($\text{kJ}/\text{h}\cdot\text{m}\cdot\text{K}$), η θερμοχωρητικότητα ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$) και η πυκνότητα (kg/m^3). Η δημιουργία νέας στρώσης, η μετονομασία, η αντιγραφή και η διαγραφή γίνονται και πάλι μέσω των εικονιδίων R,D,C,N.



Σχ. 23: Παράθυρο διαχειριστή υλικών των τοίχων

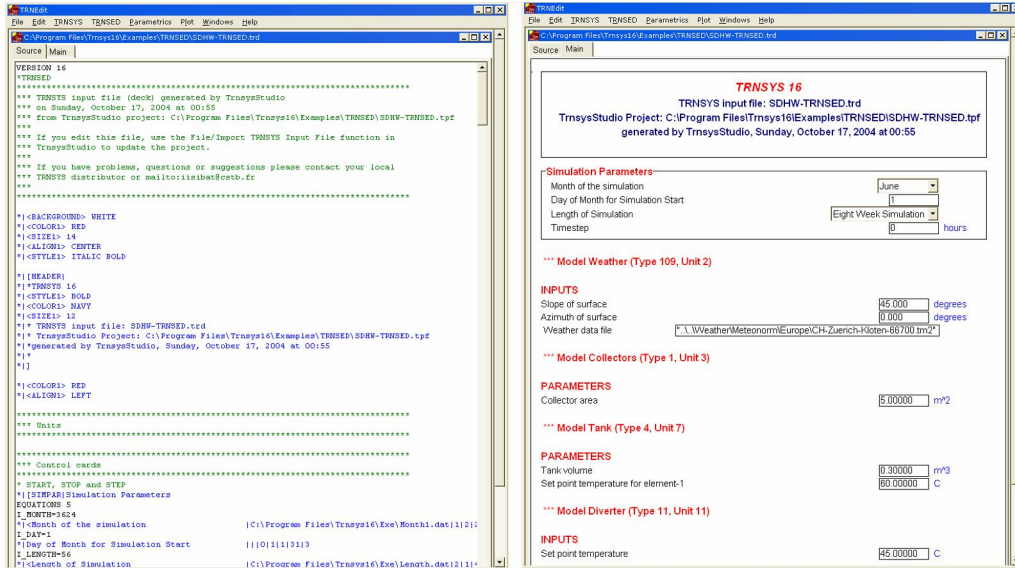
- iv. Επεξεργασία και δημιουργία νέων παραθύρων. Μέσω του διαχειριστή παραθύρων δίνεται επιλογή του συνδυασμού ήδη υπάρχοντων υαλοπινάκων με ήδη υπάρχοντα πλαίσια, καθώς επίσης και ορισμός επιπλέον θερμικής αντίστασης από εσωτερικά ή εξωτερικά σκίαστρα. Οι υαλοπίνακες ορίζονται με την αρίθμηση που έχουν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



Σχ. 24: Παράθυρο του διαχειριστή παραθύρων

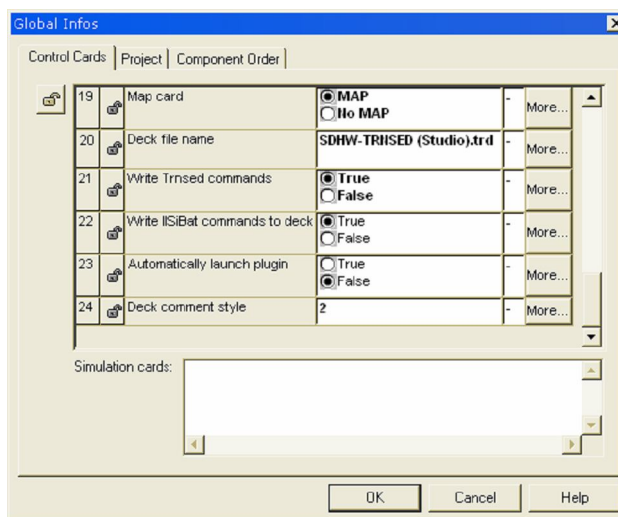
2.4 Πρόγραμμα TRNEdit

Το πρόγραμμα TRNEdit είναι ένας εξειδικευμένος επεξεργαστής (editor) ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροποποίηση των αρχείων εισόδου του TRNSYS (decks). Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία αυτόνομων εφαρμογών οι οποίες είναι γνωστές ως TRNSED εφαρμογές. Οι εφαρμογές αυτές μπορούν να διανεμηθούν ελεύθερα μεταξύ των χρηστών που δεν έχουν άδεια χρήσης του TRNSYS με σκοπό να τους παραχθεί ένα απλοποιημένο εργαλείο προσομοίωσης. Το πρόγραμμα TRNEdit παρέχεται με ένα κατάλληλο γραφικό περιβάλλον στο οποίο ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει το αρχείο εισόδου του TRNSYS εισάγοντας ειδικές εντολές ώστε να προστεθούν στο πρόγραμμα που κατασκευάζεται στοιχεία όπως πολλαπλά παράθυρα και ενεργές εικόνες. Το περιβάλλον του TRNEdit αποτελείται από δύο καρτέλες. Στην πρώτη φαίνεται ο κώδικας του αρχείου εισαγωγής, και στην άλλη το γραφικό αποτέλεσμα του κώδικα που αποτελεί την Trnsed εφαρμογή.



Σχ. 25: Καρτέλα του κώδικα του TRNEdit και η μορφή της Trnsed εφαρμογής

Για να είναι δυνατή η δημιουργία TRNSED εφαρμογών θα πρέπει από την καρτέλα ελέγχου στο στούντιο προσομοίωσης να αλλαχθεί η επέκταση του αρχείου εισόδου του TRNSYS από *.dck σε *.trd και θέτοντας την τιμή “True” στην επιλογή “Write Trnsed commands”. Έπειτα, επιλέγονται οι είσοδοι και οι παράμετροι των μοντέλων που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση των οποίων οι τιμές θα μπορούν να επεξεργαστούν μέσω του προγράμματος TRNEdit και θα αποτελούν αργότερα παραμέτρους της Trnsed εφαρμογής. Αυτό γίνεται κάνοντας διπλό κλικ σε όλα τα μοντέλα της προσομοίωσης και επιλέγοντας “lock” σε κάθε μεταβλητή που δεν επιθυμούμε να αποτελεί παράμετρο της Trnsed εφαρμογής. Τέλος επιλέγουμε να γραφτεί το αρχείο εισόδου και το ανοίγουμε μέσω του προγράμματος TRNEdit όπου και τροποποιείται περεταίρω.

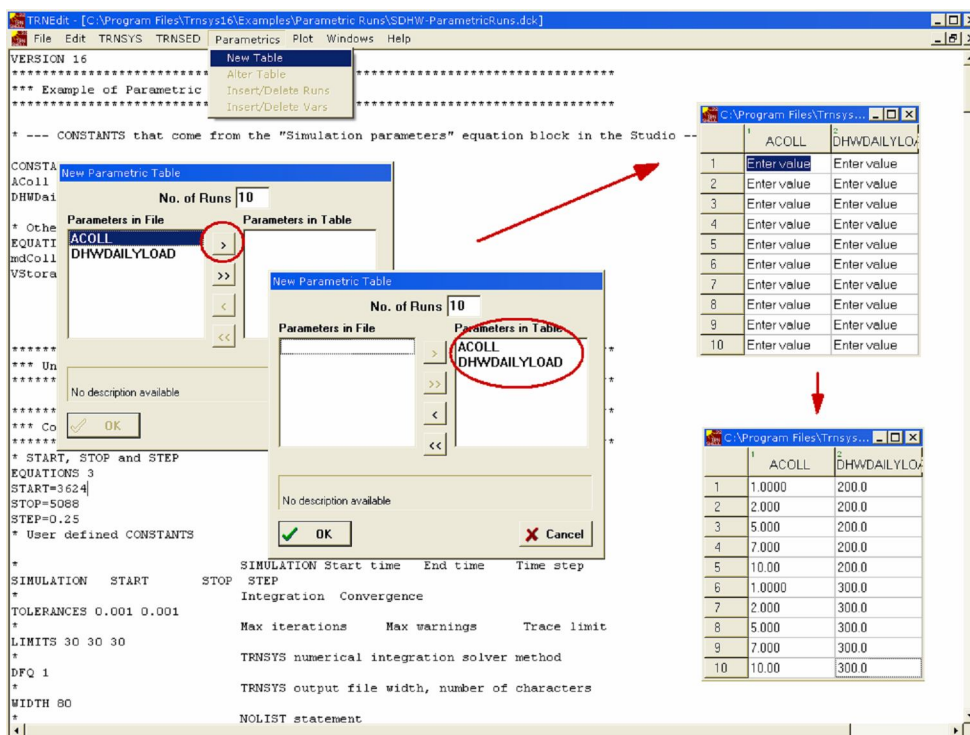


Σχ. 26: Καρτέλα ελέγχου της προσομοίωσης στο στούντιο προσομοίωσης

Με το πρόγραμμα TRNEdit παρέχονται οι ακόλουθες δυνατότητες εισάγοντας τις κατάλληλες εντολές:

- i. Ορισμός σταθερών του προγράμματος ως μεταβλητές και αντίστροφα.
- ii. Αλλαγή των τιμών σταθερών, μεταβλητών και παραμέτρων.
- iii. Ορισμός των εξωτερικών αρχείων που χρησιμοποιούν τα μοντέλα του προγράμματος (π.χ. μετεωρολογικά δεδομένα, αρχείο περιγραφής κτηρίου κτλ).
- iv. Καθορισμός γραφικών παραμέτρων όπως δημιουργία πολλαπλών παραθύρων, ενεργών εικόνων, εισαγωγή εικόνων.
- v. Ρύθμιση των Trnsed εφαρμογών έτσι ώστε να μπορούν να επιλεγθούν οι τιμές άμεσα ή από λίστα ή από καθοριζόμενο αρχείο και εισαγωγή αποκλειστικών και μη αποκλειστικών επιλογών.
- vi. Παραμετρικές εκτελέσεις της προσομοίωσης.

Οι παραμετρικές εκτελέσεις πραγματοποιούνται δημιουργώντας έναν πίνακα των σταθερών του προγράμματος που επιθυμούμε να οριστούν ως οι παράμετροι των εκτελέσεων με τις τιμές που επιθυμούμε να λάβουν οι σταθερές αυτές σε κάθε εκτέλεση. Για να δημιουργηθεί ο πίνακας αυτός, επιλέγεται από το άνω μέρος του παραθύρου “Parametric” και “new table”. Στο παράθυρο που ανοίγει ορίζουμε τον αριθμό των παραμετρικών εκτελέσεων και επιλέγονται από τη λίστα οι σταθερές βάσει των οποίων θέλουμε να γίνει η παραμετροποίηση. Τέλος συμπληρώνονται οι επιθυμητές τιμές στον πίνακα έτσι ώστε κάθε γραμμή του πίνακα να περιέχει τον επιθυμητό συνδυασμό των τιμών των παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν σε κάθε εκτέλεση. Η παραμετρική μελέτη εκκινεί επιλέγοντας “run table” από το μενού “Trnsys” στο άνω μέρος του παραθύρου του προγράμματος TRNEdit.



Σχ. 27: Δημιουργία παραμετρικού πίνακα

3 Περιγραφή μοντέλων προσομοίωσης

3.1 Διαφορικός ελεγκτής - Μοντέλο 2

Ο ελεγκτής παράγει μια συνάρτηση ελέγχου γ_0 η οποία μπορεί να έχει τιμές 0 ή 1. Η τιμή της γ_0 καθορίζεται αναλόγως με τη διαφορά των άνω και κάτω θερμοκρασιών, T_H και T_L , συγκρινόμενη με δύο όρια, ΔT_H και ΔT_L . Η νέα τιμή της γ_0 εξαρτάται από το αν $\gamma_1=0$ ή 1. Ο ελεγκτής συνήθως χρησιμοποιείται έχοντας συνδεδεμένες τις τιμές γ_0 και γ_1 δίνοντας έτσι υστέρηση. Για λόγους ασφαλείας καθορίζεται ένα άνω όριο λειτουργίας στον ελεγκτή, το οποίο αν ξεπεραστεί η τιμή της συνάρτησης ελέγχου είναι μηδέν ανεξαρτήτως των ορίων ΔT_H και ΔT_L . Ο ελεγκτής αυτός είναι γενικού τύπου και μπορεί να αναφέρεται σε οποιοδήποτε μέγεθος εκτός των θερμοκρασιών.

Συμβολισμός

ΔT_H [C]: άνω όριο θερμοκρασιακής διαφοράς
 ΔT_L [C]: κάτω όριο θερμοκρασιακής διαφοράς
 T_H [C]: άνω θερμοκρασία εισόδου
 T_{IN} [C]: θερμοκρασία για τον έλεγχο του άνω ορίου
 T_L [C]: κάτω θερμοκρασία εισόδου
 T_{MAX} [C]: μέγιστη θερμοκρασία εισόδου
 γ_1 [0..1]: εισερχόμενη συνάρτηση ελέγχου
 γ_0 [0..1]: εξερχόμενη συνάρτηση ελέγχου

Μαθηματική περιγραφή

Μαθηματικά το μοντέλο εκφράζεται ως εξής:

Στην περίπτωση που ο ελεγκτής ήταν προηγουμένως σε λειτουργία, τότε:

$$\text{Αν } \gamma_1=1 \text{ και } \Delta T_L \leq (T_H - T_L), \gamma_0=1$$

$$\text{Αν } \gamma_1=1 \text{ και } \Delta T_L > (T_H - T_L), \gamma_0=0$$

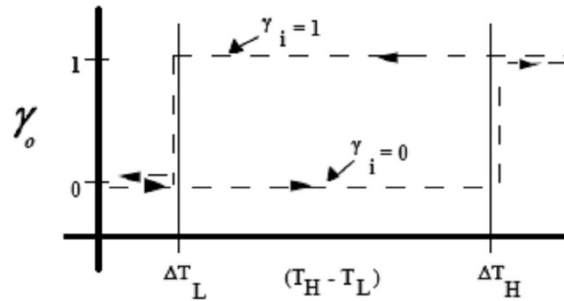
Στην περίπτωση που ο ελεγκτής ήταν προηγουμένως εκτός λειτουργίας, τότε:

$$\text{Αν } \gamma_1=0 \text{ και } \Delta T_H \leq (T_H - T_L), \gamma_0=1$$

$$\text{Αν } \gamma_1=0 \text{ και } \Delta T_H > (T_H - T_L), \gamma_0=0$$

Τέλος, η συνάρτηση ελέγχου έχει τιμή μηδέν ανεξαρτήτως των ορίων θερμοκρασιακής διαφοράς αν $T_{IN} > T_{MAX}$. Η περίπτωση αυτή είναι πολύ συνηθισμένη στην θέρμανση νερού όπου θέλουμε το θερμό νερό να μην λειτουργεί η αντλία όταν η θερμοκρασία της δεξαμενής είναι υψηλότερη κάποιας δοσμένης τιμής.

Η συνάρτηση ελέγχου φαίνεται γραφικά στο παρακάτω σχήμα:



Σχ. 28: Συνάρτηση ελέγχου

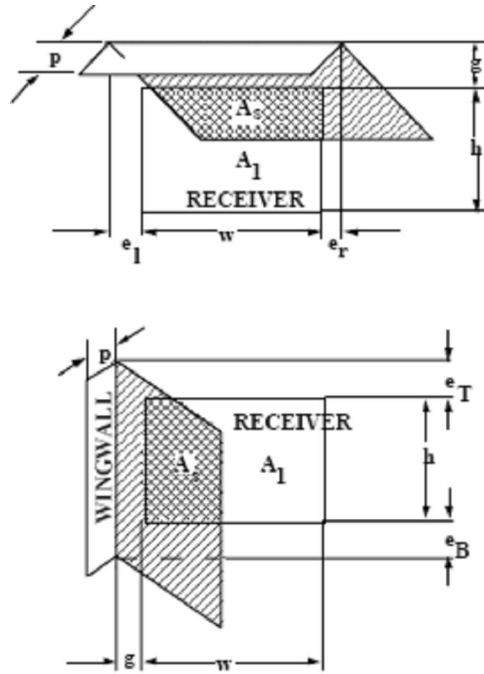
Αλληλεπίδραση του μοντέλου 2 με την μέθοδο επίλυσης του TRNSYS

Με την προεπιλεγμένη μέθοδο επίλυσης του TRNSYS (solver 0, διαδοχικές αντικαταστάσεις), όταν $(T_H - T_L)$ πλησιάζει το άνω ή το κάτω όριο, η συνάρτηση γ_0 μπορεί να αρχίσει να ταλαντώνεται μεταξύ της τιμής 1 και 0 για διαδοχικές επαναλήψεις σε ένα δοσμένο χρονικό βήμα. Αυτό συμβαίνει γιατί οι T_H και T_L αλλάζουν ελαφρώς σε κάθε επανάληψη, πληρώντας ή όχι έτσι τις προϋποθέσεις για να αλλάξει η τιμή της γ_0 . Η τιμή της παραμέτρου 1 (NSTK) είναι ο αριθμός των επιτρεπόμενων ταλαντώσεων μέσα σε ένα χρονικό βήμα πριν η τιμή εξόδου σταματήσει να μεταβάλλεται.

Μετά την έκδοση 14.1 του TRNSYS, προστέθηκε ένας νέος ελεγκτής ο οποίος να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την μέθοδο επίλυσης του Powell. Η μέθοδος ελέγχου του Powell είναι πιο σταθερή σε ορισμένες περιπτώσεις, επιλύοντας το σύστημα των εξισώσεων απαγορεύοντας την μεταβολή της ελεγχόμενης μεταβλητής κατά την διαδικασία των επαναλήψεων. Κατά την σύγκλιση, η κατάσταση του ελεγκτή συγκρίνεται με την επιθυμητή και οι υπολογισμοί επαναλαμβάνονται αν είναι απαραίτητο.

3.2 Οριζόντια και κάθετα εξωτερικά σκίαστρα - Μοντέλο 34

Στα κτήρια συνήθως τοποθετούνται σκίαστρα για να προστατευθεί από την ηλιακή ακτινοβολία κατά τους θερινούς μήνες. Το μοντέλο αυτό υπολογίζει την προσπίπτουσα ακτινοβολία σε μια κάθετη επιφάνεια-δέκτη στην οποία προστατεύεται έχει τοποθετηθεί το σκίαστρο. Η γεωμετρία της σκιασμένης επιφάνειας φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχ. 29: Γεωμετρία Δέκτη

Συμβολισμός

A : Επιφάνεια δέκτη

A_i : επιφάνεια δέκτη που άμεση ακτινοβολία

A_s : επιφάνεια δέκτη σκιασμένη από άμεση ακτινοβολία

e_b : εξέχον μήκος πλευρικού σκιάστρου από την κάτω πλευρά του δέκτη

e_l : εξέχον μήκος οριζόντιου σκιάστρου από την αριστερή πλευρά του δέκτη

e_r : εξέχον μήκος οριζόντιου σκιάστρου από την δεξιά πλευρά του δέκτη

e_t : εξέχον μήκος πλευρικού σκιάστρου από την πάνω πλευρά του δέκτη

f_i : κλάσμα της επιφάνειας του δέκτη που δέχεται άμεση ακτινοβολία

F_{A-G} : συντελεστής θέασης του δέκτη από το έδαφος

F_{A-O} : συντελεστής θέασης του δέκτη από το οριζόντιο σκίαστρο

F_{A-S} : συντελεστής θέασης του δέκτη από τον ουρανό

F_{A-WL} : συντελεστής θέασης του δέκτη από το αριστερό πλευρικό σκίαστρο

F_{A-WR} : συντελεστής θέασης του δέκτη από το δεξιό πλευρικό σκίαστρο

g : απόσταση του άνω άκρου του δέκτη από το οριζόντιο σκίαστρο

h : ύψος δέκτη

I : ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου

I_{bT} : άμεση ακτινοβολία προσπίπτουσα στον δέκτη

I_d : διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου

$(I_T)_s$: μέση ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτουσα σε σκιασμένη επιφάνεια

w : πλάτος δέκτη

γ_s : γωνία αζιμούθιου

θ_Z : γωνία ζενίθ

γ : γωνία αζιμούθιου του δέκτη

ρ_{gnd} : συντελεστής ανάκλασης εδάφους

Μαθηματική περιγραφή

Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στη σκιασμένη επιφάνεια μπορεί να διαχωριστεί στην άμεση προσπίπτουσα ακτινοβολία, στη διάχυτη και στην ακτινοβολία που αντανακλάται από το έδαφος. Το μοντέλο δεν λαμβάνει υπόψη την ακτινοβολία που αντανακλάται στον δέκτη από τα σκίαστρα.

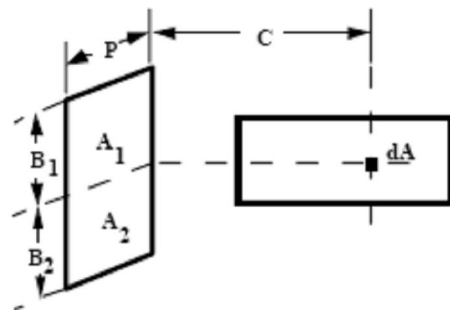
$$(I_T)_S = I_b \tau f_i + I_d \tau F_{A-S} + \rho_{\text{gnd}} F_{A-G}$$

(Ολική) (Άμεση) (διάχυτη) (Ανακλώμενη)

Το κλάσμα της επιφάνειας που δέχεται άμεση ακτινοβολία, f_i , είναι συνάρτηση της γεωμετρίας του σκιάστρου και της θέσης του ήλιου. Το κλάσμα της επιφάνειας είναι:

$$f_i = \frac{A_i}{A}$$

Για τον υπολογισμό της επιφάνειας f_i χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος της ASHRAE. Οι συντελεστές θέασης του σκιάστρου από το έδαφος και τον ουρανό υπολογίζονται θεωρώντας ότι η διάχυτη ακτινοβολία και η ανακλώμενη είναι ισοτροπικές. Για κάθετες επιφάνειες οι οποίες δεν έχουν σκίαση, οι συντελεστές έχουν τιμή ίση με 0,5. Οι συντελεστές αυτοί μειώνονται όταν υπάρχει σκίαστρο. Ο συντελεστής θέασης του δέκτη από τα πλευρικά σκίαστρα, F_{A-W} υπολογίζεται ολοκληρώνοντας τους συντελεστές θέασης των στοιχειωδών επιφανειών του δέκτη επί της συνολικής επιφάνειας του δέκτη.



Σχ. 30: Γεωμετρία πλευρικού σκιάστρου για τον υπολογισμό του συντελεστή θέασης του δέκτη από το σκίαστρο.

Συνεπώς ο συντελεστής θέασης του δέκτη από το πλευρικό σκίαστρο δίνεται από τη σχέση:

$$F_{A-W} = \int_A F_{dA-A_1} dA + \int_A F_{dA-A_2} dA$$

Όπου F_{dA-A_1} και F_{dA-A_2} δίνονται από την εξίσωση των Siegel και Howell ως ακολούθως:

$$F_{dA-A_i} = \frac{1}{2\pi} \left[\tan^{-1} \left(\frac{B_i}{C} \right) - \left[\frac{\frac{C}{B_i}}{\sqrt{\left(\frac{P}{B_i}\right)^2 + \left(\frac{C}{B_i}\right)^2}} \right] \tan^{-1} \left[\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{P}{B_i}\right)^2 + \left(\frac{C}{B_i}\right)^2}} \right] \right] \quad (i = 1, 2)$$

Ο συντελεστής θέασης του δέκτη από το οριζόντιο σκίαστρο υπολογίζεται με παρόμοιο τρόπο. Οι συνολικοί συντελεστές θέασης του σκιάστρου από τον ουρανό και το έδαφος υπολογίζονται ως εξής:

$$F_{A-S} = \frac{1}{2} - F_{A-O} - \int_A F_{dA-A_1} dA - \int_A F_{dA-A_1} dA$$

(αριστερό πλευρικό (δεξιό πλευρικό
σκίαστρο) σκίαστρο)

$$F_{A-G} = \frac{1}{2} - \int_A F_{dA-A_2} dA - \int_A F_{dA-A_2} dA$$

(αριστερό πλευρικό (δεξιό πλευρικό
σκίαστρο) σκίαστρο)

Το μοντέλο 34 χρησιμοποιεί αριθμητική ολοκλήρωση για να υπολογίσει τους συντελεστές θέασης του σκιάστρου μία φορά σε κάθε προσομοίωση.

3.3 Εκτυπωτής - Μοντέλο 25

Το μοντέλο 25 χρησιμοποιείται για να εξάγει σε αρχεία ή να εκτυπώνει τις επιλεγμένες μεταβλητές του συστήματος σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Ο μέγιστος αριθμός μεταβλητών έχει ορισθεί στις 500 και δεν υπάρχει όριο στον αριθμό των μοντέλων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια μιας προσομοίωσης.

Συμβολισμοί

L_{unit} : ο αριθμός της λογικής μονάδας στον οποίο θα εκτελεστεί έξοδος στον εκτυπωτή

Δt : Το χρονικό βήμα της προσομοίωσης

Δt_p : Η χρονική στιγμή κατά την οποία θα εκτυπωθούν οι μεταβλητές

t_{on} : Η χρονική στιγμή κατά την οποία ο εκτυπωτής θα αρχίσει να εκτυπώνει

t_{off} : Η χρονική στιγμή κατά την οποία ο εκτυπωτής θα σταματήσει να εκτυπώνει

TIME: η τωρινή χρονική στιγμή στην προσομοίωση

X_i : Η τιμή της εισερχόμενης μεταβλητής i που θα εκτυπωθεί

Μαθηματικό μοντέλο

Για το μοντέλο του εκτυπωτή ισχύουν:

- Αν $\Delta t_p = 0$ ή αν δεν έχει ορισθεί, εκτύπωση πραγματοποιείται μόνο στο τέλος της προσομοίωσης.
- Αν $0 < \Delta t_p \leq \Delta t$, πραγματοποιείται εκτύπωση σε κάθε πολλαπλάσιο του Δt
- Αν $\Delta t_p > \Delta t$, εκτύπωση πραγματοποιείται ανά N χρονικά βήματα, όπου N πρέπει να είναι θετικός ακέραιος και $N = \Delta t_p / \Delta t$

- Αν $t_{on} \leq 0$, η εκτύπωση εκκινεί στην αρχή της προσομοίωσης. Αλλιώς η εκτύπωση εκκινεί όταν $TIME \geq t_{on}$
- Αν $t_{off} \geq t_{end}$, η εκτύπωση σταματά στο τέλος της προσομοίωσης. Αλλιώς η εκτύπωση σταματά όταν $TIME > t_{off}$
- Αν $L_{unit} \leq 0$ ή αν δεν έχει ορισθεί χρησιμοποιείται η προκαθορισμένη λογική μονάδα. Αν $L_{unit} > 0$, ο αριθμός αυτός χρησιμοποιείται ως η λογική μονάδα για την έξοδο του εκτυπωτή. Αυτό επιτρέπει στην έξοδο του εκτυπωτή να γραφτεί σε ξεχωριστό αρχείο.
- Αν $UNITS=1$, εκτυπώνονται μεταβλητές που καθορίζει ο χρήστης. Αν $UNITS=2$, εκτυπώνονται μεταβλητές που επιλέγει το TRNSYS.

Παρατηρήσεις:

- Το μοντέλο 25 έχει μια παράμετρο η οποία ελέγχει αν οι χρονικές στιγμές στις οποίες πραγματοποιείται εκτύπωση είναι σχετικές ή απόλυτες. Για παράδειγμα αν η αρχή της προσομοίωσης γίνεται είναι 0,5, το χρονικό βήμα είναι 0,25 και το βήμα εκτύπωσης είναι 1 τότε: Αν η παράμετρος αυτή είναι ίση με 0, εκτύπωση θα πραγματοποιηθεί τις χρονικές στιγμές 0,5, 1,5, 2,5 κτλ. Αν η τιμή της παραμέτρου ορισθεί 1 εκτύπωση θα πραγματοποιηθεί τις χρονικές στιγμές 1,2,3 κτλ.
- Το μοντέλο 25 έχει επίσης τη δυνατότητα να απευθυνθεί στο αρχείο εξόδου αντί να το δημιουργήσει εκ νέου, γεγονός που χρήσιμο για παραμετρικές εκτελέσεις του προγράμματος (όλες οι εξοδοί των παραμετρικών εκτελέσεων μπορούν να γραφούν στο ίδιο αρχείο).
- Η δεύτερη καρτέλα δεδομένων που ακολουθεί την καρτέλα εισόδων πρέπει να έχει τις ονομασίες για κάθε είσοδο και οι εισοδοί εκτυπώνονται κάτω από την δοσμένη ονομασία. Οι ονομασίες πρέπει να χωρίζονται είτε με κόμμα είτε με κενό.
- Αν η παράμετρος 5 ορισθεί ίση με 1, ο χρήστης πρέπει να παράσχει το σύνολο των μεταβλητών με τρόπο παρόμοιο των ονομασιών, όπως περιγράφηκε παραπάνω.

3.4 Δημιουργία άμεσων διαγραμμάτων (Online Plotter) - Μοντέλο 65

Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται για να παρουσιάσει στην οθόνη επιλεγμένες μεταβλητές σε καθορισμένες χρονικές στιγμές ταυτόχρονα με την εκτέλεση της προσομοίωσης. Το μοντέλο αυτό είναι πολύ χρήσιμο καθώς επιτρέπει στον χρήστη τον άμεσο έλεγχο των υπό μελέτη μεταβλητών κατά την εξέλιξη της προσομοίωσης. Επίσης τα διαγράμματα των διαφόρων μεταβλητών εμφανίζονται σε διαφορετικά παράθυρα στην οθόνη.

Με το μοντέλο αυτό υπάρχει επίσης η δυνατότητα δημιουργίας αρχείου με όλες τις τιμές των μεταβλητών που εκτυπώνονται. Αυτό είναι δυνατόν ορίζοντας την παράμετρο 10 του μοντέλου ίση με έναν θετικό αριθμό. Επίσης, ο εκτυπωτής μπορεί να τεθεί εκτός λειτουργίας χωρίς να διαγραφεί το μοντέλο από το πρόγραμμα της προσομοίωσης θέτοντας την παράμετρο 9 ίση με -1. Αν όλοι οι online plotters έχουν τεθεί εκτός λειτουργίας στην οθόνη εμφανίζεται η προκαθορισμένη μπάρα προόδου της προσομοίωσης αντί των διαγραμμάτων. Αν έχει επιλεγεί να παράγεται αρχείο εξόδου, αυτό δημιουργείτε ακόμα και αν ο εκτυπωτής έχει τεθεί εκτός λειτουργίας.

Παρατηρήσεις

- Σε μία προσομοίωση μπορούν να υπάρχουν έως 5 online plotters
- Κάθε εκτυπωτής μπορεί να έχει από 1 έως 20 εισόδους. (10 στον αριστερό άξονα και 10 στον δεξιό)
- Στην καρτέλα εισόδων πρέπει να ορισθούν οι ονομασίες των μεταβλητών. Οι ονομασίες μπορούν να έχουν 25 το πολύ χαρακτήρες και διαχωρίζονται η μία από την άλλη με κόμμα ή κενό.
- Απαιτείται κάρτα ταμπελών για να ορισθούν οι μονάδες των μεταβλητών και οι επικεφαλίδες των διαγραμμάτων. Συγκεκριμένα πρέπει να ορισθούν 3 ταμπέλες. Η πρώτη αναφέρεται στον τίτλο του αριστερού άξονα y, η δεύτερη στον τίτλο του άξονα x και η Τρίτη στον τίτλο του διαγράμματος
- Ο αριθμός εισόδων είναι ίσος με το άθροισμα των δύο πρώτων παραμέτρων.

3.5 Επεξεργαστής ηλιακής ακτινοβολίας – Μοντέλο 16

Η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία συνήθως καταγράφεται ανά μία ώρα και αναφέρεται στο οριζόντιο επίπεδο. Σε ορισμένες προσομοιώσεις απαιτούνται εκτιμήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας ανά χρονικά διαστήματα διαφορετικά της μίας ώρας. Το μοντέλο αυτό υπολογίζει με παρεμβολή, υπολογίζει διάφορα μεγέθη τα οποία σχετίζονται με τη θέση του ηλίου και εκτιμά την έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία σε έως και 8 επιφάνειες με σταθερό ή μεταβλητό προσανατολισμό.

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι για να γίνει παρεμβολή στα δεδομένα της ακτινοβολίας. Μια σχετικά απλή μέθοδος είναι η γραμμική παρεμβολή των ωριαίων τιμών για την εκτίμηση της ακτινοβολίας σε μικρότερα της μίας ώρας χρονικά διαστήματα. Η μέθοδος αυτή έχει αρκετά μειονεκτήματα. Το πιο προφανές πρόβλημα είναι ότι παράγονται θετικές τιμές της ακτινοβολίας πριν την ανατολή του ηλίου και μετά τη δύση του. Για παράδειγμα αν η ανατολή του ηλίου είναι στις 6:30π.μ τότε, στο αρχείο με τις ωριαίες τιμές θα έχουμε για τις 6:00π.μ τιμή μηδέν και για τις 7:00π.μ 40watts/m². Με την γραμμική παρεμβολή θα λάβουμε 10watts/m² στις 6:15, δεκαπέντε λεπτά πριν την ανατολή του ηλίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο λόγος R_b της ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο προς την ακτινοβολία στο οριζόντιο να

προκύψει πολύ μεγάλος κατά τις χρονικές στιγμές κοντά στην ανατολή ή στη δύση του ηλίου, με αποτέλεσμα οι τιμές της ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο να προκύψουν υπερβολικά πολύ μεγάλες. Για το λόγο αυτό, το συγκεκριμένο μοντέλο χρησιμοποιεί την καμπύλη της ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας για να κάνει παρεμβολή στα δεδομένα της ακτινοβολίας. Η μέθοδος αυτή εξαλείφει σε μεγάλο βαθμό τα προβλήματα που προκύπτουν με την γραμμική παρεμβολή.

Κατά τις προσομοιώσεις απαιτείται συνήθως η ολική ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου. Τα θεωρητικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται από τις υπορουτίνες αυτού του επεξεργαστή απαιτούν την γνώση τις άμεσης και τις διάχυτης ακτινοβολίας των οποίων το άθροισμα συνιστά την ολική ακτινοβολία. Αν είναι γνωστή μόνο η ολική ακτινοβολία, παρέχονται συσχετισμοί από το μοντέλο 16 για την εκτίμηση της άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου. Το μοντέλο 16 δίνει αρκετές επιλογές για τον υπολογισμό της άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου καθώς και για τον υπολογισμό της ολικής ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο.

Σημείωση: Στο μοντέλο 16 δεν είναι δυνατή η εξομάλυνση των τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας.

Συμβολισμοί

A_1 : Βαθμός ανισοτροπίας

a/c: σταθμισμένη στερεά γωνία περιοχής γύρω από τον ήλιο

E: εκκεντρότητα της τροχιάς της γης

f: παράγοντας διαμόρφωσης για το μοντέλο του Reindl για κεκλιμένες επιφάνειες

F_1' : Συντελεστής μείωσης φωτεινότητας (για την περιοχή γύρω από τον ήλιο)

F_2' : Συντελεστής μείωσης φωτεινότητας (φωτεινότητας ορίζοντα)

I_0 : Ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας οριζοντίου επιπέδου

I_{on} : Ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας καθέτου επιπέδου

I_b : Ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου αίθριας ατμόσφαιρας

I_{bn} : Ακτινοβολία καθέτου επιπέδου αίθριας ατμόσφαιρας

I_{bT} : Άμεση ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου

I_d : Διάχυτος ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου

I_{dn} : Διάχυτος ακτινοβολία καθέτου επιπέδου

I_{dT} : Διάχυτος ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου

I : Ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου

I_T : Ολική ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου

I_{gT} : Ακτινοβολία ανακλώμενη από το έδαφος σε κεκλιμένη επιφάνεια

k_T : Λόγος ολικής ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου προς την ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας

L_{loc} : Γεωγραφικό πλάτος τοποθεσίας

L_{st} : Γεωγραφικό πλάτος μεσημβρινού στον οποίο βασίζεται ο τοπικός χρόνος

n: Ημέρα έτους εκκίνησης της προσομοίωσης

R_b : Λόγος άμεσης ακτινοβολίας κεκλιμένης επιφάνειας προς την άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου

R_d : Λόγος διάχυτης ακτινοβολίας κεκλιμένης επιφάνειας προς την διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου

R_f : Λόγος αντανακλώμενης από το έδαφος ακτινοβολίας σε κεκλιμένη επιφάνεια προς την ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου

RH: σχετική υγρασία

S_c : Ηλιακή σταθερά

SHFT: Μεταβολή στον ηλιακό χρόνο σε σχέση με τον ονομαστικό χρόνο της ανάγνωσης στοιχείων

T_a : Θερμοκρασία περιβάλλοντος

t_1 : Χρονική στιγμή εκκίνησης του χρονικού βήματος

t_2 : Χρονική στιγμή λήξης του χρονικού βήματος

t_{d1} : Χρονική στιγμή τελευταίας ανάγνωσης δεδομένων

t_{d2} : Χρονική στιγμή επόμενης ανάγνωσης δεδομένων

α : Ηλιακό ύψος

β : Κλίση επιφάνειας, θετική όταν η κλίση έχει προσανατολισμό το καθορισμένο αζιμούθιο

β : Κλίση άξονα κινούμενης επιφάνειας

δ : Ηλιακή απόκλιση

Δ : Παράμετρος φωτεινότητας ουρανού

ϵ : Παράμετρος αιθριότητας ουρανού

γ : Γωνία αζιμούθιου επιφάνειας. Η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της καθέτου στην επιφάνεια πάνω στο οριζόντιο επίπεδο και τη νότια κατεύθυνση. ($\gamma = 0$ για νότιο προσανατολισμό, θετική για τη δύση, αρνητική για την ανατολή)

γ' : Γωνία αζιμούθιου άξονα. Η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της γραμμής του άξονα στο οριζόντιο επίπεδο και στον τοπικό μεσημβρινό

γ_s : Αζιμούθιο ηλίου

θ : Γωνία πρόσπτωσης άμεσης ακτινοβολία στο επίπεδο

θ_z : Γωνία ζενίθ ηλίου

ρ_g : Συντελεστής ανελαστικότητας εδάφους

ϕ : γεωγραφικό πλάτος

ω : μέση ωριαία γωνία χρονικού βήματος

ω_1 : Ωριαία γωνία στην αρχή του χρονικού βήματος

ω_2 : Ωριαία γωνία στο τέλος του χρονικού βήματος

ω_{d1} : Ωριαία γωνία του πρώτου δεδομένου

ω_{d2} : Ωριαία γωνία του τελευταίου δεδομένου

Περιγραφή μαθηματικού μοντέλου

Στην πράξη, τα περισσότερα δεδομένα είναι στην πραγματικότητα το ολοκλήρωμα στιγμιαίων τιμών. Ο αναγνώστης δεδομένων – Μοντέλο 9 χρησιμοποιεί γραμμική παρεμβολή, κάτι που είναι ακατάλληλο για τα δεδομένα της ακτινοβολίας. Για το

λόγο αυτό το μοντέλο 9 πρέπει να ρυθμιστεί έτσι ώστε να μην εκτελεί παρεμβολή στα δεδομένα. Ο επεξεργαστής της ηλιακής ακτινοβολίας - Μοντέλο 16 χρησιμοποιεί την συνολική ακτινοβολία μεταξύ των χρονικών στιγμών t_{d1} και t_{d2} που διαβάζονται από το μοντέλο ανάγνωσης δεδομένων. Έπειτα, προσθέτοντας υπολογίζει αν είναι απαραίτητο την ολική ακτινοβολία μεταξύ των ωριαίων γωνιών ω_{d1} και ω_{d2} . Οι ωριαίες γωνίες επιλέγονται έτσι ώστε $\omega_{d1} \leq \omega_1$ και $\omega_{d2} \geq \omega_2$. Αν στο ενδιάμεσο του χρονικού βήματος έχουμε ανατολή ή δύση του ηλίου, τότε το κομμάτι του χρονικού βήματος κατά το οποίο ο ήλιος βρίσκεται κάτω από τη γραμμή του ορίζοντα αγνοείται.

Η ολική ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας μεταξύ των ωριαίων γωνιών ω' και ω'' δίνεται από τη σχέση:

$$I_o|_{\omega'}^{\omega''} = \int_{\omega'}^{\omega''} S_c E (\cos\phi \cos\delta \cos\omega + \sin\phi \sin\delta) d\omega$$

Αν είναι γνωστό το ολοκλήρωμα $I|_{\omega_{d1}}^{\omega_{d2}}$, μια λογική εκτίμηση της πραγματικής έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία στη διάρκεια του χρονικού βήματος είναι:

$$I|_{\omega_1}^{\omega_2} = I|_{\omega_{d1}}^{\omega_{d2}} * \frac{I_o|_{\omega_1}^{\omega_2}}{I_o|_{\omega_{d1}}^{\omega_{d2}}}$$

Ο υπολογισμός αυτός εκτιμά το ολοκλήρωμα για την ακτινοβολία χρησιμοποιώντας το λόγο της ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας για το συγκεκριμένο χρονικό βήμα προς την ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας για την περίοδο που αντιστοιχεί μεταξύ δύο διαδοχικών τιμών των δεδομένων. Καθότι άλλες ρουτίνες του TRNSYS απαιτούν την στιγμιαία την στιγμιαία τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας, υπολογίζεται ο μέσος όρος της ηλιακής ακτινοβολίας στο συγκεκριμένο χρονικό βήμα.

Μέθοδοι υπολογισμού άμεσης και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου

Το μοντέλο 16 έχει πέντε μεθόδους για να υπολογίσει την άμεση και τη διάχυτη ακτινοβολία έχοντας δεδομένη την ολική ηλιακή ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου. Οι λειτουργίες 1 και 2 βασίζονται στις σχέσεις που ανέπτυξε ο Reindl. Και οι δύο λειτουργίες παρέχουν εκτιμήσεις του λόγου της διάχυτης ακτινοβολίας προς την ολική ακτινοβολία (I_d/I). Η λειτουργία 1 είναι στην πραγματικότητα μια απλοποιημένη μορφή των πλήρων σχέσεων που χρησιμοποιείται στη λειτουργία 2. Η λειτουργία 1 χρησιμοποιεί τον δείκτη αιθριότητας και το ηλιακό ύψος για τον υπολογισμό της διάχυτης ακτινοβολίας. Οι υπολογισμοί γίνονται με τις παρακάτω εξισώσεις:

Για $0 \leq k_T \leq 0.3$ και για $I_d/I \leq 1.0$:

$$I_d/I = 1.020 - 0.254 k_T + 0.0123 \sin(\alpha)$$

Για $0.3 < k_T < 0.78$ και για $0.1 \leq I_d/I \leq 0.97$:

$$I_d/I = 1.400 - 1.749 k_T + 0.177 \sin(\alpha)$$

Για $0.78 < k_T$ και για: $0.1 \leq I_d/I$

$$I_d/I = 0.486 k_T - 0.182 \sin(\alpha)$$

Στη λειτουργία 2 το κλάσμα της διάχυτη ακτινοβολία εκτιμάται ως συνάρτηση του δείκτη αιθριότητας, του ηλιακού ύψους, της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και τη σχετική υγρασία. Οι υπολογισμοί γίνονται με τις ακόλουθες εξισώσεις:

Για $0 \leq k_T \leq 0.3$ και για $I_d/I \leq 1.0$:

$$I_d/I = 1.000 - 0.232 k_T + 0.0239 \sin(\alpha) - 0.000682 T_a + 0.0195 (\text{rh}/100)$$

Για $0.3 < k_T < 0.78$ και για $0.1 \leq I_d/I \leq 0.97$:

$$I_d/I = 1.329 - 1.716 k_T + 0.267 \sin(\alpha) - 0.00357 T_a + 0.106 (\text{rh}/100)$$

Για $0.78 < k_T$ και για $0.1 \leq I_d/I$

$$I_d/I = 0.426 k_T - 0.256 \sin(\alpha) + 0.00349 T_a + 0.0734 (\text{rh}/100)$$

Αντί να τίθενται περιορισμοί για κάθε μεταβλητή στις παραπάνω εξισώσεις, χρησιμοποιείται ένας εναλλακτικός περιορισμός στον συνολικό υπολογισμό της διάχυτης ακτινοβολίας. Τα όρια του περιορισμού τίθενται στις υπολογισμένες τιμές της διάχυτης ακτινοβολίας έτσι ώστε να είναι λογικές.

Κατά τις παραπάνω λειτουργίες η άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου υπολογίζεται ως

$$I_b = I - I_d$$

Στην λειτουργία, η άμεση και διάχυτη ακτινοβολία παρέχονται άμεσα ως είσοδοι από τον χρήστη. Στην λειτουργία 4 είσοδοι είναι η ολική και η άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου. Τέλος, στην λειτουργία 5 είσοδοι είναι η ολική και η διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου.

Θέση Ηλίου στον ουρανό

Η θέση του ήλιου στον ουρανό μπορεί να καθορισθεί από το την γωνία ζενίθ και τη γωνία αζιμούθιου ηλίου. Η γωνία ζενίθ είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του κάθετου επιπέδου και της ευθείας όρασης του ήλιου. Η γωνία αυτή είναι 90° μείον την γωνία ανάμεσα στον ήλιο και στον οριζόντιο επίπεδο (ηλιακό ύψος). Η γωνία αζιμούθιου είναι η γωνία που σχηματίζεται από τον τοπικό μεσημβρινό και της προβολής της ευθείας όρασης του ηλίου στο οριζόντιο επίπεδο. Η γωνία αζιμούθιου είναι 0 για τον νότιο προσανατολισμό, θετική για τους δυτικούς προσανατολισμούς και αρνητική για τους ανατολικούς.

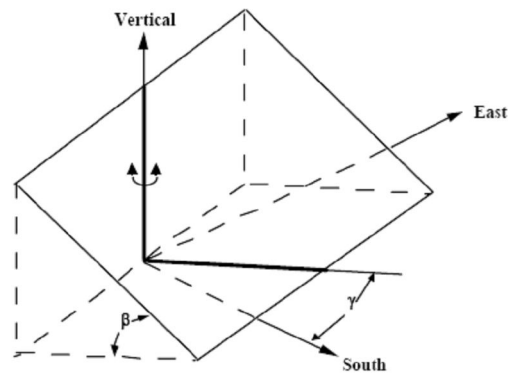
$$\cos\theta_Z = \sin\delta \sin\phi + \sin\phi \cos\delta \cos\omega$$

$$\sin\gamma_s = \frac{\cos\delta \sin\omega}{\sin\theta_Z}$$

Λειτουργία κινούμενης επιφάνειας

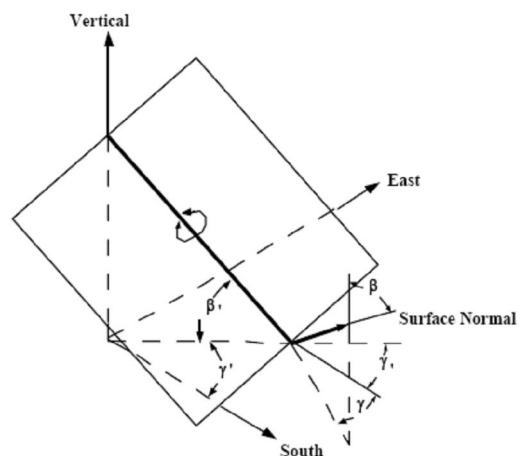
Το μοντέλο 16 παρέχει 4 λειτουργίες υπολογισμού της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε κινούμενες επιφάνειες. Η λειτουργία 1 είναι αφορά επιφάνειες που δεν ακολουθούν την τροχιά του ήλιου με σκοπό την μεγιστοποίηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η κλίση και το αζιμούθιο της επιφάνειας εισάγονται από τον χρήστη και καθορίζουν την θέση του ήλιου. Οι είσοδοι αυτοί είτε μεταβάλλονται με το χρόνο είτε είναι σταθερές. Οι λειτουργίες 2-4 αφορούν διάφορους βέλτιστους τύπους επιφανειών για την παρακολούθηση της τροχιάς του ήλιου. Ένας τέτοιος συλλέκτης μεταβάλλει τον προσανατολισμό του κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μεγιστοποιείται η τιμή της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε όλες τις χρονικές στιγμές. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε μεγιστοποιώντας την άμεση προσπίπτουσα ακτινοβολία είτε το $\cos(\theta)$.

Η λειτουργία 2 προσομοιώνει την κίνηση μιας επιφάνειας με σταθερή κλίση και μεταβλητή γωνία αζιμούθιου. Η επιφάνεια περιστρέφεται με κατακόρυφο άξονα περιστροφής όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Στην περίπτωση αυτή η άμεση ακτινοβολία μεγιστοποιείται όταν $\gamma = \gamma_s$. Στην περίπτωση αυτή οι δοσμένες από τον χρήστη τιμές της γωνίας αζιμούθιου αγνοούνται.



Σχ. 31: Κινούμενη επιφάνεια στη λειτουργία 2

Η λειτουργία 3 προσομοιώνει τη γενική περίπτωση όπου η επιφάνεια περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα παράλληλο στην επιφάνεια. Μια τέτοια επιφάνεια φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχ. 32: Κινούμενο επίπεδο κατά την λειτουργία 3

Για οριζόντιο άξονα η κλίση της επιφάνειας δίνεται από την εξίσωση:

$$\beta = \tan^{-1} (\tan\theta_Z \cos(\gamma_s - \gamma))$$

Όπου η γωνία αζιμούθιου της επιφάνειας δίνεται ως προς τη γωνία αζιμούθιου του άξονα ως εξής:

$$\gamma = \gamma' + 90^\circ, \text{ για } \gamma_s - \gamma' > 0$$

$$\gamma = \gamma' - 90^\circ \text{ για } \gamma_s - \gamma' < 0$$

Όταν μια επιφάνεια περιστρέφεται γύρω από άξονα πάντα παράλληλο στην επιφάνεια, όταν η επιφάνεια δεν είναι κάθετη ή οριζόντια, τότε και η γωνία αζιμούθιου και η κλίση της μεταβάλλονται με το χρόνο. Σε αυτήν την περίπτωση ισχύει ότι:

$$\gamma = \gamma' + \tan^{-1} \left(\frac{\sin\theta_Z \sin(\gamma_s - \gamma')}{\sin\beta' \cos\theta'} \right)$$
$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{\tan\beta'}{\cos(\gamma - \gamma')} \right)$$

Όπου θ' είναι η γωνία πρόσπτωσης σε επιφάνεια με κλίση και γωνία αζιμούθιου ίση με αυτές του άξονα.

Στην περίπτωση αυτή οι εισαγόμενες τιμές της κλίσης και της γωνίας αζιμούθιου αναφέρονται στον άξονα.

Στην λειτουργία 4, προσομοιώνονται επιφάνειες που περιστρέφονται σε δύο άξονες. Η άμεση ακτινοβολία στην περίπτωση που η επιφάνεια κινείται με τέτοιο τρόπο ώστε οι ακτίνες του ηλίου να παραμένουν πάντα κάθετες στην επιφάνεια. Αυτό επιτυγχάνεται όταν $\gamma = \gamma_s$ και $\beta = \theta_Z$. Στην περίπτωση αυτή οι εισαγόμενες τιμές της κλίσης και της γωνίας αζιμούθιου αγνοούνται.

Λειτουργία υπολογισμού ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου

Το μοντέλο 16 παρέχει 4 λειτουργίες υπολογισμού της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου. Σε όλες τις περιπτώσεις απαιτείται γνώση της ολικής και διάχυτης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου καθώς και η θέση του ήλιου. Γενικά ο υπολογισμός της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου γίνεται προσθέτοντας την άμεση, την διάχυτη και ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία στο επίπεδο.

Σε όλες τις λειτουργίες χρησιμοποιούνται οι ίδιες τεχνικές για την προβολή της άμεσης και της ανακλώμενης από το έδαφος ακτινοβολίας στην κεκλιμένη επιφάνεια και διαφέρουν μόνο στην μέθοδο υπολογισμού της διάχυτης ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο. Η συμβολή της άμεσης ακτινοβολίας στην κεκλιμένη επιφάνεια (για μικρά χρονικά διαστήματα) μπορεί να υπολογιστεί με χρήση του συντελεστή R_b :

$$R_b = \frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta_Z)}$$

Όπου:

$$\cos(\theta) = \cos\theta_Z \cos\beta + \sin\theta_Z \cos(\gamma_s - \gamma) \sin\beta$$

Στην παραπάνω εξίσωση, β είναι η κλίση της επιφάνειας, ορισμένη ως η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της επιφάνειας και του οριζοντίου επιπέδου, ενώ γ είναι η γωνία αζιμούθιου της επιφάνειας. Το πρόσημο της γωνίας αζιμούθιου της επιφάνειας είναι ίδιο με το αζιμούθιο ηλίου. Δηλαδή μηδέν για νότιο προσανατολισμό, θετικό για δυτικούς προσανατολισμούς και αρνητικό για ανατολικούς. Η κλίση λαμβάνει θετική τιμή όταν έχει προσανατολισμό προς το αζιμούθιο της επιφάνειας.

Αφού έχει υπολογιστεί το R_b :

$$I_{bT} = I_b R_b$$

Η συμβολή της ανακλώμενης ακτινοβολίας υπολογίζεται με την παραδοχή ότι το έδαφος συμπεριφέρεται ως ισοτροπικός ανακλαστήρας και καθορίζοντας τον παράγοντα R_r ως το λόγο της ανακλώμενης ακτινοβολίας στην κεκλιμένη επιφάνεια προς την ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου, είναι:

$$R_r = 0.5 (1 - \cos \beta) \rho_g$$

$$I_{gT} = I R_r$$

Η συμβολή της διάχυτης ακτινοβολίας στην κεκλιμένη επιφάνεια υποθέτοντας ισοτροπικό ουρανό είναι:

$$I_{dT} = I_d R_d$$

Η λειτουργία 2 χρησιμοποιεί τ μοντέλο που αναπτύχθηκε από τους Hay and Davies. Το μοντέλο αυτό λαμβάνει υπόψη του και την και την ισοτροπική διάχυτη ακτινοβολία και την διάχυτη ακτινοβολία από την περιοχή γύρω από τον ήλιο. Υπό συνθήκες πλήρους αιθριότητας, παρατηρείται αυξημένη ένταση της διάχυτης ακτινοβολίας στην περιοχή γύρω από τον ήλιο. Το μοντέλο των Hay and Davies σταθμίζει την διάχυτη ακτινοβολία από την περιοχή γύρω από τον ήλιο χρησιμοποιώντας έναν δείκτη ανισοτροπίας A_I . Ο δείκτης ανισοτροπίας καθορίζει το ποσοστό της διάχυτης ακτινοβολίας που προέρχεται από την περιοχή γύρω από τον ήλιο ενώ το υπόλοιπο μέρος θεωρείται ισοτροπικό. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, είναι:

$$A_I = \frac{I_{bn}}{I_{on}}$$

$$I_{dT} = I_d [0.5 (1 - A_I) (1 + \cos \beta) + A_I R_b]$$

Ο πρώτος όρος στην αγκύλη παριστά την συμβολή του ισοτροπικού μέρους της διάχυτης ακτινοβολίας ενώ ο δεύτερος όρος παριστά το μέρος που προέρχεται από την περιοχή γύρω από τον ήλιο.

Στη λειτουργία 3 το μοντέλο 16 χρησιμοποιεί το θεωρητικό μοντέλο που αναπτύχθηκε από τον Reindl το οποίο βασίζεται στην εργασία πολλών προηγούμενων μελετητών. Το μοντέλο αυτό προσθέτει στο μοντέλο των Hay and Davies έναν ακόμη όρο της διάχυτης ακτινοβολίας ο οποίος αναφέρεται στην διάχυτη ακτινοβολία από την φωτεινότητα του ορίζοντα. Ο όρος αυτός υπολογίζεται από το ισοτροπικό μέρος της διάχυτης ακτινοβολίας και το μέγεθός του καθορίζεται από έναν ρυθμιστικό συντελεστή, f . Το μοντέλο του Reindl περιγράφεται από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$f = \sqrt{\frac{I_b}{I}}$$

$$I_{dT} = I_d [0.5 (1 - A_I) (1 + \cos \beta) (1 + (f) \sin^3(\beta/2)) + A_I R_b]$$

Ο πρώτος όρος στην αγκύλη παριστά το ισοτροπικό μέρος και το μέρος της διάχυτης ακτινοβολίας που οφείλεται στην φωτεινότητα του ορίζοντα. Ο δεύτερος όρος αναφέρεται στο μέρος της διάχυτης ακτινοβολία που προέρχεται από την περιοχή γύρω από τον ήλιο.

Η λειτουργία 4 χρησιμοποιεί το μοντέλο που αναπτύχθηκε από τον Perez. Το μοντέλο συνυπολογίζει την διάχυτη ακτινοβολία που προέρχεται από την περιοχή γύρω από τον ήλιο, από την φωτεινότητα του ορίζοντα και από το ισοτροπικό κομμάτι του ουρανού με βάση εμπειρικούς συντελεστές “μείωσης φωτεινότητας”. Οι συντελεστές αυτοί F_1' και F_2' είναι συναρτήσεις παραμέτρων της καθαρότητας του ουρανού, ϵ , και της φωτεινότητας του ουρανού, Δ .

$$\epsilon \equiv \frac{\left[\frac{(I_d + I_{dn})}{I_d} + 1.041 \theta_Z^3 \right]}{\left[1 + 1.041 \theta_Z^3 \right]}$$

Όπου θ_Z δίνεται σε rad.

$$\Delta \equiv \frac{I_d m}{I_{0n}} = \frac{I_d}{I_0}$$

Ο υπολογισμός των συντελεστών μείωση φωτεινότητας γίνεται με βάση τις παρακάτω σχέσεις και τον ακόλουθο πίνακα.

$$F_1' = F_{11}(\epsilon) + F_{12}(\epsilon) \cdot \Delta + F_{13}(\epsilon) \cdot \theta_Z$$

$$F_2' = F_{21}(\epsilon) + F_{22}(\epsilon) \cdot \Delta + F_{23}(\epsilon) \cdot \theta_Z$$

Πίνακας 5

ϵ Bin	Upper Limit for ϵ	Cases (%)	F11	F12	F13	F21	F22	F21
1	1.065	13.60	-0.196	1.084	-0.006	-0.114	0.180	-0.019
2	1.230	5.60	0.236	0.519	-0.180	-0.011	0.020	-0.038
3	1.500	7.52	0.454	0.321	-0.255	0.072	-0.098	-0.046
4	1.950	8.87	0.866	-0.381	-0.375	0.203	-0.403	-0.049
5	2.800	13.17	1.026	-0.711	-0.426	0.273	-0.602	-0.061
6	4.500	21.45	0.978	-0.986	-0.350	0.280	-0.915	-0.024
7	6.200	16.06	0.748	-0.913	-0.236	0.173	-1.045	0.065
8	-	13.73	0.318	-0.757	0.103	0.062	-1.698	0.236

Ο γωνιακός τόπος της περιοχής γύρω από τον ήλιο για το οποίο η διάχυτη ακτινοβολία μεταβάλλεται δίνεται από τον λόγο a/c :

$$a/c = \frac{\max[0, \cos \theta]}{\max[\cos 85, \cos \theta_Z]}$$

Η διάχυτη ακτινοβολία στην κεκλιμένη επιφάνεια υπολογίζεται ως εξής:

$$I_{dT} = I_d \left[0.5 (1 - F_1') (1 + \cos \beta) + F_1' \left(\frac{a}{c} \right) + F_2' \sin \beta \right]$$

Η ολική ακτινοβολία στην κεκλιμένη επιφάνεια υπολογίζεται για όλες της λειτουργίες του μοντέλου ως το άθροισμα της διάχυτης, της άμεσης και της ανακλώμενης από το έδαφος ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο.

$$I_T = I_{bT} + I_{dT} + I_{gT}$$

Γενικότερα, τα ανισοτροπικά μοντέλα για τον ουρανό (Hay and Davies, Reindl, Perez) παρέχουν συγκρίσιμες τιμές της ολικής ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο

και είναι κατάλληλα για γενική χρήση. Τα μοντέλα των Hay and Davies και του Reindl είναι υπολογιστικά απλούστερα του μοντέλου του Perez. Το ισοτροπικό μοντέλο ουρανού που χρησιμοποιείται στη λειτουργία 1 δεν είναι κατάλληλο για γενική χρήση καθώς οι τιμές που υπολογίζονται είναι σημαντικά μικρότερες των πραγματικών αλλά συμπεριλαμβάνεται για λόγους πληρότητας του μοντέλου.

Υπολογισμός ηλιακής ώρας

Λόγω του ότι πολύ υπολογισμοί γίνονται λαμβάνοντας υπόψη την ώρα της ημέρας είναι σημαντικό να χρησιμοποιείται η σωστή ηλιακή ώρα. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται πολλοί διορθωτικοί συντελεστές. Γενικά για την ηλιακή ώρα ισχύει ότι:

$$\text{Ηλιακή ώρα (hrs)} = \text{τοπική ώρα} + E + (L_{st} - L_{loc})/15$$

Ο όρος E παριστά την εκκεντρότητα της τροχιάς της γης και μεταβάλλεται μεταξύ -24h και +26h κάθε χρόνο. L_{st} είναι ο τοπικός μεσημβρινός της τοπικής ώρας και L_{loc} είναι το γεωγραφικό μήκος της ζητούμενης τοποθεσίας. Ο τοπικός μεσημβρινός μετριέται σε μοίρες και παίρνει τιμές από 0° έως $\pm 180^\circ$. Δυτικά του μεσημβρινού (Greenwich, Αγγλία) οι τιμές είναι θετικές ενώ ανατολικά είναι αρνητικές.

Για τους υπολογισμούς της ολικής ακτινοβολίας για ένα χρονικό βήμα χρησιμοποιείται η μέση ωραία γωνία $\omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$, έτσι ώστε η υπολογιζόμενη θέση του ηλίου να είναι ο μέσος όρος για την περίοδο του χρονικού βήματος.

Η ηλιακή ώρα που χρησιμοποιείται είναι:

$$\text{Ηλιακή ώρα} = t + E + \text{SHFT}/15$$

Όπου t είναι η ώρα σε ώρες (hours) με αναφορά το ω . Επίσης $\text{SHFT} = L_{st} - L_{loc}$

Επίσης η ώρα της προσομοίωσης πρέπει να τεθεί έτσι ώστε η πρώτη γραμμή δεδομένων που διαβάζεται να αντιστοιχεί στο τέλος του πρώτου χρονικού βήματος στην εκκίνηση της προσομοίωσης. Αν τα δεδομένα παρέχονται ανά μονά χρονικά διαστήματα της ηλιακής ώρας, τότε οι παράγοντες E και SHFT πρέπει να παραληφθούν. Αυτό γίνεται δίνοντας στην τελευταία παράμετρο αρνητική τιμή.

3.6 Μοντέλο ψυχομετρικού διαγράμματος – Μοντέλο 33

Το μοντέλο αυτό καλεί στο TRNSYS την υπορουτίνα 'Psychometrics'. Έχει ως εισόδους: 1) θερμοκρασία ξηρού βολβού και μια ακόμα ιδιότητα αναλόγως την ορισμένη λειτουργία του μοντέλου. Η ιδιότητα αυτή μπορεί να είναι: θερμοκρασία υγρού βολβού, σχετική υγρασία, θερμοκρασία σημείου δρόσου, λόγος υγρασίας, ενθαλπία. 2) λόγος υγρασίας και ενθαλπία. Η έξοδοι του μοντέλου είναι οι ακόλουθες ιδιότητες: λόγος υγρασίας, θερμοκρασία υγρού βολβού, ενθαλπία, πυκνότητα του μείγματος αέρα-νερού, πυκνότητα ξηρού αέρα, ποσοστό σχετικής υγρασίας, θερμοκρασία ξηρού βολβού και θερμοκρασία σημείου δρόσου.

Η πρώτη παράμετρος του μοντέλου καθορίζει ποιά ζευγάρι ιδιοτήτων θα αποτελέσουν είσοδο στο μοντέλο. Η δεύτερη παράμετρος καθορίζει το αν θα πρέπει να υπολογιστεί ή όχι η θερμοκρασία υγρού βολβού. Ο υπολογισμός της θερμοκρασίας υγρού βολβού απαιτεί επαναληπτική διαδικασία η οποία μπορεί να είναι χρονοβόρα. Αν δεν απαιτείται ο υπολογισμός της τότε η δεύτερη παράμετρος πρέπει να είναι 0. Η τρίτη παράμετρος είναι η λειτουργία σφάλματος (error mode). Αν η παράμετρος τεθεί ίση με 1, αναφέρεται μόνο μια ειδοποίηση ανά σφάλμα. Αν η παράμετρος λάβει την τιμή 2, εκτυπώνεται ειδοποίηση σε κάθε χρονικό βήμα που εμφανίζεται σφάλμα.

3.7 Αντιπροσωπευτική θερμοκρασία ουρανού – Μοντέλο 69

Το μοντέλο αυτό υπολογίζει μια αντιπροσωπευτική θερμοκρασία για τον ουρανό. Με βάση αυτήν την θερμοκρασία υπολογίζεται η συναλλαγή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους από τις εξωτερικές επιφάνειες ενός κτηρίου με το περιβάλλον.

Συμβολισμός

C_{Cover} : Βαθμός συννεφιάς του ουρανού

E_{Dir} : 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 την επιφάνεια της θάλασσας

p_{atm} : ατμοσφαιρική πίεση

p_0 : Ατμοσφαιρική πίεση στο ύψος h_0

ρ_0 : πυκνότητα αέρα στο ύψος h_0

ϵ_0 : εκπομπή καθαρού ουρανού

T_{amb} : Θερμοκρασία περιβάλλοντος

T_{sat} : Θερμοκρασία σημείου δρόσου σε συνθήκες περιβάλλοντος

T_{sky} : Θερμοκρασία ουρανού

Μαθηματικό μοντέλο

Η αντιπροσωπευτική θερμοκρασία ουρανού υπολογίζεται με σκοπό τον υπολογισμό της συναλλασσόμενης ακτινοβολίας μεγάλου μήκους από τις εξωτερικές επιφάνειες ενός κτηρίου με το περιβάλλον. Για τον υπολογισμό αυτόν ο ουρανός θεωρείται ότι είναι μία ιδανική μαύρη επιφάνεια. Το ζητούμενο είναι ο υπολογισμός της πραγματικής εκπομπής του καθαρού και του συννεφιασμένου ουρανού. Έτσι, η αντιπροσωπευτική θερμοκρασία ουρανού είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, της υγρασίας του αέρα, του βαθμού συννεφιάς του ουρανού και της τοπικής ατμοσφαιρικής πίεσης.

Στην περίπτωση που τα εισαγόμενα δεδομένα από τον χρήστη δεν περιλαμβάνουν τον βαθμό συννεφιάς του ουρανού, μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

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

Για τον βαθμό συννεφιάς κατά την περίοδο της νύκτας χρησιμοποιείται ένας μέσος βαθμός με βάση τις τιμές που έχει τις απογευματινές ώρες.

Η ατμοσφαιρική πίεση καθορίζεται με βάση το βαρομετρικό υψόμετρο της ζητούμενης τοποθεσίας:

$$P_{atm} = P_0 e^{-\frac{g P_0 h}{P_0}}$$

Η εκπομπή του καθαρού ουρανού μπορεί να βρεθεί από την T_{sat} στις συνθήκες περιβάλλοντος

$$\varepsilon_0 = 0.711 + 0.005 T_{sat} + 7.3 \times 10^{-5} T_{sat}^2 + 0.013 \cos \left[2\pi \frac{time}{24} \right] + 12 \times 10^{-5} (P_{atm} - P_0)$$

όπου η μεταβλητή time αναφέρεται στην ώρα της ημέρας.

Η αντιπροσωπευτική θερμοκρασία ουρανού μπορεί τότε να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση:

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

3.8 Ανάγνωση Δεδομένων (Γενικά αρχεία δεδομένων) – Μοντέλο 9

Αυτό το μοντέλο εξυπηρετεί το γενικό σκοπό της ανάγνωσης δεδομένων ανά τακτά χρονικά διαστήματα από μια συγκεκριμένη λογική μονάδα του προγράμματος, μετατρέποντάς τα στο επιθυμητό σύστημα μονάδων κάνοντάς τα αξιοποιήσιμα από άλλες μονάδες του TRNSYS.

Τα αρχεία δεδομένων που είναι προς ανάγνωση μπορούν να καθορισθούν με 2 τρόπους. Το μοντέλο μπορεί να διαβάσει τα αρχεία απευθείας ή να διαβάσει πρώτα ένα αρχείο που στην πραγματικότητα είναι λίστα των ζητούμενων αρχείων. Τα αρχεία διαβάζονται σε αυτήν την περίπτωση με τη σειρά που αναφέρονται στη λίστα. Ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει μια λίστα αρχείων γράφοντας “FILES” στην πρώτη σειρά του αρχείου και γράφοντας ακολούθως ένα όνομα αρχείο ανά σειρά.

Το μοντέλο 9 μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε στη λειτουργία ελεύθερης μορφοποίησης αρχείων, είτε στην λειτουργία μορφοποιημένων αρχείων. Στην πρώτη περίπτωση οι γραμμές των δεδομένων δεν απαιτείται να έχουν την ίδια ακριβώς μορφοποίηση, αλλά παρόλα αυτά κάθε τιμή πρέπει να διαχωρίζεται από την προηγούμενη με κόμμα ή κενό. Στην δεύτερη περίπτωση η ανάγνωση γίνεται με την μορφοποίηση F ή E FORTRAN FORMAT. Θέτοντας στην παράμετρο FRMT μία θετική τιμή και έχοντας ορίσει μία από τις παραπάνω μορφοποιήσεις στην επόμενη

σειρά από αυτήν με την τιμή της παραμέτρου έχει ως αποτέλεσμα όλες οι γραμμές του αρχείου να διαβάζονται με αυτήν την μορφοποίηση.

Συμβολισμός

$V_i(n)$: i -οστή τιμή από την γραμμή n

m_i : πολλαπλασιαστικός συντελεστής της i -οστής τιμής

a_i : προσθετικός συντελεστής i -οστής τιμής

$V_i'(n)$: i -οστή τιμή στην γραμμή n μετά την εφαρμογή των συντελεστών

t_{d1} : χρόνος που αντιστοιχεί στα δεδομένα της προηγούμενης γραμμής

t_{d2} : χρόνος που αντιστοιχεί στην επόμενη γραμμή

Λειτουργίες

Στο TRNSYS 16 η εκκίνηση της προσομοίωσης είναι η χρονική στιγμή στην οποία αρχίζει το πρώτο χρονικό βήμα, ενώ όλα υπόλοιπα χρονικά βήματα διακρίνονται από την στιγμή που τελειώνουν. Για παράδειγμα, μία προσομοίωση διάρκειας ενός έτους δεν εκκινεί την χρονική στιγμή 1 αλλά τη χρονική στιγμή 0 και τελειώνει τη χρονική στιγμή 8760.

Λειτουργία 1

Η πρώτη γραμμή στο αρχείο δεδομένων αναφέρεται στη χρονική στιγμή εκκίνησης της προσομοίωσης. Οι αρχικές συνθήκες παρέχονται για όλες τις μεταβλητές και θεωρούνται στιγμιαίες τιμές, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που δίνονται ως μέσες τιμές των χρονικών βημάτων σε όλο το υπόλοιπο αρχείο δεδομένων.

Λειτουργία 2

Η πρώτη γραμμή στο αρχείο δεδομένων αναφέρεται στην στιγμή εκκίνησης της προσομοίωσης. Οι αρχικές συνθήκες δίνονται είτε ως στιγμιαίες είτε ως μέσες τιμές του χρονικού βήματος ανάλογα με τις ρυθμίσεις κάθε μεταβλητής.

Λειτουργία 3

Η πρώτη γραμμή του αρχείου δεδομένων αναφέρεται στο πρώτο χρονικό βήμα της προσομοίωσης και όχι στην χρονική στιγμή εκκίνησης της προσομοίωσης. Στην λειτουργία αυτή δεν παρέχονται αρχικές συνθήκες από το αρχείο.

Λειτουργία 4

Η πρώτη γραμμή του αρχείου δεδομένων αναφέρεται στην χρονική στιγμή 0. Αν η στιγμή εκκίνησης της προσομοίωσης δεν είναι η χρονική στιγμή 0, οι γραμμές του

αρχείου μέχρι την στιγμή εκκίνησης αγνοούνται. Οι αρχικές τιμές παρέχονται ως στιγμιαίες τιμές και μόνο για όλες τις μεταβλητές.

Λειτουργία 5

Η πρώτη γραμμή του αρχείου δεδομένων αναφέρεται στην χρονική στιγμή 0. Αν η στιγμή εκκίνησης της προσομοίωσης δεν είναι η χρονική στιγμή 0, οι γραμμές του αρχείου μέχρι την στιγμή εκκίνησης αγνοούνται. Οι αρχικές τιμές παρέχονται ως στιγμιαίες τιμές είτε ως μέσες τιμές του χρονικού βήματος, αναλόγως με την κάθε μεταβλητή.

Λειτουργία 6

Η πρώτη γραμμή του αρχείου δεδομένων αναφέρεται στο πρώτο χρονικό βήμα του έτους. Αν η προσομοίωση δεν αρχίζει στην αρχή του έτους, οι γραμμές του αρχείου μέχρι την στιγμή εκκίνησης της προσομοίωσης αγνοούνται. Αρχικές συνθήκες δεν παρέχονται σε αυτήν την λειτουργία

Επεξεργασία μεταβλητών

Κάθε μεταβλητή σχετίζεται με 4 παραμέτρους του μοντέλου με τις οποίες καθορίζεται το αν θα πραγματοποιηθεί ή όχι παρεμβολή στις τιμές της, αν η ζητούμενη στήλη αναφέρεται σε στιγμιαίες τιμές ή σε τιμές που προέκυψαν από παρεμβολή και καθορίζουν μια απλή διαδικασία μετατροπής μονάδων.

Μέσες και στιγμιαίες τιμές

Κάθε μεταβλητή μπορεί να είναι στιγμιαία τιμή ή μέση τιμή για την περίοδο του χρονικού βήματος. Το TRNSYS είναι προκαθορισμένο έτσι ώστε να λαμβάνει μέσες τιμές από το μοντέλο 9 και γι' αυτό το λόγο οι στιγμιαίες τιμές είναι εκείνες που μετατρέπονται. Οι τιμές της ακτινοβολίας παρέχονται συνήθως ως μέσες τιμές ενώ οι τιμές της θερμοκρασίας και της υγρασίας παρέχονται συνήθως ως στιγμιαίες τιμές.

Παρεμβολή και μετατροπή μονάδων

Σε κάθε μεταβλητή μπορεί να εφαρμοστεί παρεμβολή ανεξαρτήτως από το αν έχει στιγμιαίες ή μέσες τιμές. Μετά την παρεμβολή ή/ και την μετατροπή σε μέση τιμή, οι μονάδες μιας μεταβλητής μπορούν να μετατραπούν σε άλλο σύστημα αν αυτό είναι απαραίτητο με μία απλή γραμμική σχέση:

$$V_1' (n) = m_1 V_1 (n) + a_1$$

Οι συντελεστές m και a παρέχονται ως παράμετροι του μοντέλου.

Παρατηρήσεις

1. Από κάθε γραμμή μπορούν να διαβαστούν έως και 98 τιμές.
2. Τα δεδομένα μίας γραμμής πρέπει να απέχουν από τα δεδομένα της επόμενης ίσα χρονικά διαστήματα.
3. Στα αρχεία ελεύθερης μορφοποίησης, οι μεταβλητές εξάγονται με την ίδια σειρά που είναι γραμμένα στο αρχείο.
4. Η δήλωση της μορφοποίησης πρέπει να υπακούει τους γενικούς κανόνες τέτοιων δηλώσεων του TRNSYS. Επειδή οι μεταβλητές που διαβάζονται είναι πραγματικές μεταβλητές, η μορφοποίηση πρέπει υποχρεωτικά να είναι τύπου F ή E.
5. Στις εξόδους μπορεί να εφαρμοστεί παρεμβολή μεταξύ των χρονικών βημάτων ή όχι ανάλογα με τις καθορισμένες παραμέτρους.
6. Οι έξοδοι 99 και 100 είναι οι χρονικές στιγμές στην αρχή και στο τέλος του συγκεκριμένου χρονικού βήματος. Οι έξοδοι αυτοί είναι απαραίτητες για την παρεμβολή των δεδομένων της ακτινοβολίας από το μοντέλο 16.
7. Το μοντέλο δίνει άλλες 100 εξόδους όπου η έξοδος $100 + i$ παριστάνει την τιμή της εξόδου i το επόμενο χρονικό βήμα αν οι τιμές έχουν υποστεί παρεμβολή ή την τιμή της εξόδου i την επόμενη χρονική στιγμή αν δεν έχει εφαρμοστεί παρεμβολή.
8. Θέτοντας αρνητική τιμή στην πρώτη παράμετρο σε κάποια από τις λειτουργίες του μοντέλου, οι πρώτες γραμμές του αρχείου αγνοούνται. Η παράμετρος αυτή είναι χρήσιμη όταν θέλουμε να αρχίζει η προσομοίωση σε κάποια χρονική στιγμή διαφορετική της πρώτης ώρας.

3.9 Περιοδική ολοκλήρωση – Μοντέλο 55

Κατά την προσομοίωση φαινομένων μεταφοράς, είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε κάποια βασικά στατιστικά στοιχεία κάποιας μεταβλητής για κάποια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Το μοντέλο αυτό υπολογίζει την μέση τιμή, την σταθερή απόκλιση, το άθροισμα τετραγώνων, την διακύμανση, την ελάχιστη τιμή και την χρονική στιγμή που αυτή εμφανίζεται, τη μέγιστη τιμή και την χρονική στιγμή που εμφανίζεται, για δέκα μεταβλητές κατά την χρονική περίοδο που ορίζει ο χρήστης. Επιπλέον, το μοντέλο υπολογίζει το ολοκλήρωμα μιας μεταβλητής για την χρονική περίοδο αυτή, ή διαφορετικά το άθροισμα των τιμών για την περίοδο αυτή.

Αυτό που κάνει το μοντέλο αυτό ιδιαίτερα χρήσιμο είναι ότι έχει την δυνατότητα να εκτελεί περιοδικά υπολογισμούς για μεγάλο αριθμό χρονικών περιόδων. Για παράδειγμα, με το μοντέλο αυτό είναι δυνατόν να υπολογιστεί η μέση μηνιαία τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας από τις 8:00π.μ. ως τις 9:00π.μ. Ένα άλλο παράδειγμα είναι ο υπολογισμός της ετήσιας ενέργειας που καταναλώνει ένας συμπιεστής που χρησιμοποιείται σε σύστημα ψύξης από τις 5:00μ.μ. της Παρασκευής ως τις 00:00π.μ. της Κυριακής.

Για κάθε μεταβλητή ο χρήστης πρέπει να καθορίσει αν πρέπει να ολοκληρωθεί ή να αθροιστούν οι τιμές της για την περίοδο του χρόνου, την ημέρα εκκίνησης, την διάρκεια κάθε περιόδου, το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί δύο διαδοχικών υπολογισμών, το χρόνο αναστοιχειοθέτησης της προσομοίωσης και τον απόλυτο χρόνο εκκίνησης και λήξης της προσομοίωσης.

Συμβολισμός

Length_i: Διάρκεια περίοδο για την μεταβλητή I (ώρες)
Max_i: Μέγιστη τιμή της μεταβλητής i για την υπό μελέτη χρονική περίοδο
Mean_i: Μέση τιμή της μεταβλητής i
Mini: Ελάχιστη τιμή της μεταβλητής i για την υπό μελέτη χρονική περίοδο
Ni: Αριθμός τιμών της μεταβλητής i σε κάθε αναστοιχειοθέτηση
Repeat_i: Χρονικό διάστημα ανάμεσα σε δύο διαδοχικές περιόδους υπολογισμών της μεταβλητής i (ώρες)
Reset_i: Χρονική περίοδος για την οποία μελετάται η μεταβλητή i (ώρες)
Start_i: Απόλυτος χρόνος εκκίνησης των υπολογισμών της μεταβλητής i (ώρα έτους)
SSD_i: Τυπική απόκλιση της μεταβλητής i
SSQ_i: Άθροισμα τετραγώνων της μεταβλητής i
Stop_i: Απόλυτος χρόνος λήξης υπολογισμών της μεταβλητής i
Ton_i: Σχετικός χρόνος εκκίνησης περιόδου υπολογισμών της μεταβλητής i
VAL_i: Μεταβλητή που λαμβάνει είτε την τιμή της εισόδου είτε την τιμή 0
Var_i: Διακύμανση της μεταβλητής i κατά την υπό μελέτη χρονική περίοδο
Y_i: Ολοκλήρωμα της μεταβλητής i για την υπό μελέτη χρονική περίοδο
Δt : Χρονικό βήμα προσομοίωσης.

Μαθηματικό μοντέλο

Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επιλέξει αν για την μεταβλητή i πρέπει να υπολογιστεί το ολοκλήρωμά της ή να αθροιστούν οι τιμές της στην υπό μελέτη χρονική περίοδο. Εάν πρέπει να υπολογιστεί το ολοκλήρωμα, τότε εφαρμόζεται στην μεταβλητή ο ακόλουθος τύπος:

$$Y_i = \int_{Start_i}^{Stop_i} VAL_i dt$$

Στην περίπτωση που οι τιμές της μεταβλητής αθροίζονται:

$$Y_i = \sum_{Start_i}^{Stop_i} VAL_i$$

Όπου:

VAL_i = INPUT_i, όταν [Ton_i + n (Repeat_i)] ≤ TIME ≤ [Ton_i + length_i n (Repeat_i)]

n = 0,1,2,3...

VAL_i = 0, σε κάθε άλλη περίπτωση.

Ο συνολικός αριθμός των τιμών της μεταβλητής i υπολογίζεται από την καταμέτρηση της μεταβλητής i :

$$N_i = \left(\frac{\text{Length}_i \text{ (hrs)}}{\Delta t \text{ (hrs)}} \right) \left(\frac{\text{Re set}_i \text{ (hrs)}}{\text{Re peat}_i \text{ (hrs)}} \right)$$

Η μέση τιμή της μεταβλητής i είναι:

$$\text{Mean}_i = \frac{\sum_{\text{Start}_i}^{\text{Stop}_i} \text{VAL}_i}{N_i}$$

Η τυπική απόκλιση της μεταβλητής i είναι ο βαθμός στον οποίο οι τιμές απέχουν από την μέση τιμή της μεταβλητής. Όσο μικρότερη είναι η τυπική απόκλιση τόσο πιο κοντά στον μέσο όρο κυμαίνονται οι τιμές της μεταβλητής.

$$\text{SSD}_i = \sqrt{\frac{\sum_{\text{Start}_i}^{\text{Stop}_i} (\text{VAL}_i - \text{Mean}_i)^2}{N_i - 1}}$$

Ένα άλλο μέγεθος που δείχνει τη διασπορά των τιμών γύρω από τον μέσο όρο της μεταβλητής είναι η διακύμανση. Η διακύμανση ορίζεται ως το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών μεταξύ της μεταβλητής i και της μέσης τιμής. Ομοίως με την τυπική απόκλιση, όσο μικρότερη είναι η διακύμανση, τόσο λιγότερο αποκλίνουν οι τιμές από τη μέση τιμή.

$$\text{VAR}_i = \frac{\sum_{\text{Start}_i}^{\text{Stop}_i} (\text{VAL}_i - \text{Mean}_i)^2}{N_i - 1}$$

Το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών της τιμής i από τη μέση τιμή αποτελεί άλλον ένα μέγεθος της διασποράς και είναι:

$$\text{SSQ}_i = \sum_{\text{Start}_i}^{\text{Stop}_i} (\text{VAL}_i - \text{Mean}_i)^2$$

Παρατηρήσεις

- Μπορούν να ορισθούν ως 10 μεταβλητές
- Ο αριθμός των απαιτούμενων παραμέτρων είναι ίσος με το επταπλάσιο του αριθμού των μεταβλητών
- Ο αριθμός των εξόδων είναι ίσος με το δεκαπλάσιο του αριθμού των εισόδων
- Οι έξοδοι 1,11,21... είναι το ολοκλήρωμα ή το άθροισμα των τιμών της μεταβλητής στην υπό μελέτη χρονική περίοδο.

3.10 Μοντέλο περιγραφής χρονικά μεταβαλλόμενης λειτουργίας (Μοντέλο 14)

Κατά τις προσομοιώσεις χρονικά μεταβαλλόμενων φαινομένων, είναι πολλές φορές απαραίτητη η χρήση μιας συνάρτησης που έχει ένα σταθερά επαναλαμβανόμενο μοτίβο. Τον σκοπό αυτό εξυπηρετεί το μοντέλο 14. Η περιγραφή

του μοτίβου γίνεται με βάση ένα σύνολο διακριτών σημείων, το οποίο να περιγράφει την τιμή της συνάρτησης σε διάφορες χρονικές στιγμές. Το μοντέλο επιτρέπει την γραμμική παρεμβολή με σκοπό την παραγωγή μίας συνεχούς συνάρτησης μέσω αυτών των διακριτών σημείων.

Συμβολισμός

TIME: Παρούσα τιμή του χρόνου στην προσομοίωση

C_T : Η περίοδος της επανάληψης του μοτίβου

N: Αριθμός τμημάτων που περιγράφουν την συνάρτηση (Απαιτείται ο καθορισμός N+1 τμημάτων)

V_0 : Αρχική τιμή της συνάρτησης

V_i : Η τιμή της συνάρτησης μεταφοράς στο σημείο i

t_i : ο χρόνος που έχει παρέλθει από την στιγμή εκκίνησης της περιόδου

\bar{V} : Η μέση τιμή της συνάρτησης που προκύπτει με γραμμική παρεμβολή κατά τη διάρκεια ενός χρονικού βήματος

t_0 : Η αρχική τιμή του χρόνου. Πρέπει να είναι 0 αν η συνάρτηση επαναλαμβάνεται.

Δt : Το χρονικό βήμα

Μαθηματικό μοντέλο

Η περίοδος που περιγράφεται πρέπει να είναι πλήρως ορισμένη και θα πρέπει $t_N \geq C_T$

Η μέση τιμή \bar{V} της συνάρτησης υπολογίζεται ως ακολούθως:

$$t_c = \text{MOD}(\text{TIME}, C_T) - \Delta t / 2$$

Αν $t_{i-1} < t_c < t_i$ τότε:

$$R = \frac{t_c - t_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}$$

$$\bar{V} = V_{i-1} + R (V_i - V_{i-1})$$

3.11 Συνδυασμένο μοντέλο ανάγνωσης μετεωρολογικών δεδομένων και επεξεργασίας της ηλιακής ακτινοβολίας – Μοντέλο 109

Το μοντέλο αυτό εξυπηρετεί το γενικό σκοπό ανάγνωσης μετεωρολογικών δεδομένων ανά τακτά χρονικά διαστήματα από ένα αρχείο δεδομένων, τα μετατρέπει στο επιθυμητό σύστημα μονάδων και υπολογίζει την άμεση και διάχυτη ακτινοβολία για έναν αυθαίρετο αριθμό επιφανειών με αυθαίρετο προσανατολισμό και κλίση. Το μοντέλο 109 διαβάζει ορισμένα αρχεία με γνωστή μορφοποίηση καθώς επίσης και

αρχεία με μορφοποίηση που καθορίζεται από τον χρήστη με την σύνταξη που αναφέρεται παρακάτω.

Λειτουργίες

Υπάρχουν 4 διαφορετικές λειτουργίες για την διαχείριση μορφοποιημένων αρχείων:

- Η λειτουργία 1 στην οποία ο καθορισμός μορφοποίησης γίνεται από τον χρήστη και αναφέρεται σε αυθαίρετα μετεωρολογικά δεδομένα.
- Η λειτουργία 2 η οποία διαβάζει αρχεία με μορφοποίηση TMY2
- Η λειτουργία 3 η οποία διαβάζει αρχεία με τη γερμανική μορφοποίηση TRY.
- Η λειτουργία 4 η οποία διαβάζει αρχεία VDI 91x και 92x σύμφωνα με τον γερμανικό κώδικα VDI 2078

Επίσης, το μοντέλο αυτό μπορεί να διαβάσει γενικά αρχεία δεδομένων, τα οποία δεν έχουν απαραίτητα μετεωρολογικά δεδομένα, μετατρέποντάς τα στο επιθυμητό σύστημα μονάδων.

Το μοντέλο 109 υποστηρίζει αρχεία ελεύθερης μορφοποίησης καθορισμένης από τον χρήστη. Κάθε τιμή πρέπει να διαχωρίζεται από την προηγούμενη με κενό ή κόμμα για τις λειτουργίες 0 και 1.

Παρατηρήσεις

- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως 5 μοντέλα 109 σε μία προσομοίωση
- Τα δεδομένα από γραμμή σε γραμμή πρέπει να απέχουν σταθερά χρονικά διαστήματα.
- Στην λειτουργία 0 όπου η μορφοποίηση των δεδομένων καθορίζεται από τον χρήστη, τα δεδομένα εξάγονται με την ίδια σειρά που εμφανίζονται στο αρχείο δεδομένων. Σε όλες τις λειτουργίες διαχείρισης δεδομένων, οι έξοδοι έχουν την ίδια προκαθορισμένη σειρά εξόδου έτσι ώστε να διευκολύνεται η διαδικασία.
- Στην λειτουργία 0, μπορούν να υπάρχουν ως 20 γραμμές με σχόλια πριν τις γραμμές με τα δεδομένα. Οι γραμμές με τα σχόλια δεν πρέπει να ξεκινούν με αριθμό.
- Στα δεδομένα μπορεί ή όχι να εφαρμόζεται παρεμβολή ανάμεσα στα χρονικά βήματα αναλόγως με τις καθορισμένες παραμέτρους.
- Αν η προσομοίωση λήγει με τα δεδομένα να δίνουν ακτινοβολία $\neq 0$ η τιμή της ακτινοβολίας ορίζεται 0 για την τελευταία ώρα της προσομοίωσης

Μαθηματικό μοντέλο

Το μοντέλο 109 χρησιμοποιεί τους ίδιους αλγόριθμους με το μοντέλο 16 για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο (με τις ίδιες λειτουργίες κεκλιμένης επιφάνειας 1-4) και για τον υπολογισμό της θέσης μίας κινούμενης επιφάνειας γύρω από έναν ή δύο άξονες.

Τα δεδομένα της ακτινοβολίας ελέγχονται για τιμές μεγαλύτερες του μηδενός πριν την ανατολή και μετά την δύση του ηλίου και εφαρμόζεται παρεμβολή για χρονικά διαστήματα μικρότερα ή μεγαλύτερα του διαστήματος που χωρίζει δύο διαδοχικές γραμμές. Η εσωτερική διαδικασία υπολογισμού της ακτινοβολίας παράγει τιμές της διάχυτης και της άμεσης ακτινοβολίας για έναν αυθαίρετο αριθμό επιφανειών με οποιαδήποτε γωνία αζιμουθίου και κλίση. Τέλος, προκαθορισμένες εξόδους αποτελούν η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου και η κατεύθυνση του ανέμου. Ως 4 επιπλέον στήλες δεδομένων μπορούν να επεξεργαστούν στην λειτουργία 1 όπου καθορίζονται από τον χρήστη.

Λειτουργίες οριζόντιας ακτινοβολίας

Το μοντέλο 109 χρειάζεται δύο στοιχεία της ηλιακής ακτινοβολίας για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας σε μία κεκλιμένη επιφάνεια. Οι συνδυασμοί που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι οι ακόλουθοι:

- I_b και I_d
- I και I_d
- I και I_{on}
- I , T_{amb} και RH . Η διάχυτη ακτινοβολία υπολογίζεται με βάση το πλήρες μοντέλο του Reindl.
- I . Η διάχυτη ακτινοβολία υπολογίζεται με βάση τους απλοποιημένους συσχετισμούς του μοντέλου του Reindl.

4 Μοντέλο πολυζωνικού κτηρίου

4.1 Γενικά

Η προσομοίωση του πολυζωνικού κτηρίου γίνεται με το μοντέλο 56 του υπολογιστικού πακέτου TRNSYS. Το μοντέλο προσομοιώνει την θερμική συμπεριφορά ενός κτηρίου που μπορεί να έχει έως και 25 θερμικές ζώνες. Το μοντέλο διαβάζει την περιγραφή του κτηρίου από μια σειρά αρχείων με επεκτάσεις *.bui, *bld, *trn. Τα αρχεία αυτά παράγονται με βάση τις πληροφορίες που εισάγει ο χρήστης μέσω του προγράμματος TRNBUILD. Στο TRNSYS υπάρχουν δύο μοντέλα 56: “type-56a” και “type-56b”. Το πρώτο παράγει τα δικά του αρχεία με τα ωριαία και μηνιαία αποτελέσματα ενώ το δεύτερο όχι. Ο χρήστης έχει την επιλογή και στους δύο τύπους να ορίσει την εξαγωγή επιπλέον αποτελεσμάτων είτε σε ωριαία είτε σε μηνιαία βάση.

Εκτός του μοντέλου 56 το TRNSYS παρέχει άλλα 3 μοντέλα για την προσομοίωση κτηρίων, αναλόγως τις απαιτήσεις του χρήστη. Αυτά είναι:

Μοντέλο 12: μοντέλο μίας ζώνης, σταθερής κατάστασης

Μοντέλο 88: μοντέλο μίας ζώνης με συγκεντρωμένη θερμοχωρητικότητα

Μοντέλο 19: μοντέλο μίας ζώνης, με λεπτομερείς υπολογισμούς μεταφοράς θερμότητας.

Σε σχέση με τα παραπάνω μοντέλα, το μοντέλο 56 είναι το πιο ακριβές μαζί με το μοντέλο 19 και είναι το μόνο το οποίο μπορεί να προσομοιώσει ένα κτήριο με πολλές θερμικές ζώνες λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση 2 ή περισσότερων ζωνών μέσα στο κτήριο. Η αλληλεπίδραση αυτή υπολογίζεται επιλύοντας τις διαφορικές εξισώσεις χρησιμοποιώντας τεχνικές αντιστροφής πινάκων. Η επίδραση της ακτινοβολίας μικρού και μεγάλου μήκους υπολογίζονται για κάθε επιφάνεια ανάλογα το εμβαδόν της. Οι οροφές, οι τοίχοι και τα δάπεδα προσομοιώνονται με βάση την συνάρτηση μεταφοράς θερμότητας της ASHRAE. Η εισαγωγή των πληροφοριών για το κτήριο καθώς και τα διάφορα στοιχεία του εισάγονται με το πρόγραμμα TRNBuild που περιλαμβάνεται στο υπολογιστικό πακέτο του TRNSYS.

Το μοντέλο 56 έχει δύο μεθόδους λειτουργίας οι οποίες ονομάζονται “ρυθμός μεταφοράς ενέργειας” (“energy rate”) και “επίπεδο θερμοκρασίας” (“temperature level”). Στην πρώτη περίπτωση, το μοντέλο υπολογίζει τα φορτία βασιζόμενο μόνο στα καθαρά κέρδη και στις καθαρές απώλειες του χώρου. Τα φορτία θεωρούνται ότι είναι ανεξάρτητα των θερμικών και ψυκτικών συσκευών της ζώνης. Ο χρήστης επιλέγει την επιθυμητή θερμοκρασία λειτουργίας των συσκευών και το πρόγραμμα καθορίζει την απαιτούμενη ενέργεια για να διατηρηθεί η θερμοκρασία σε αυτήν την τιμή. Το πλεονέκτημα αυτής της λειτουργίας είναι ότι μπορούν α υπολογιστούν μία

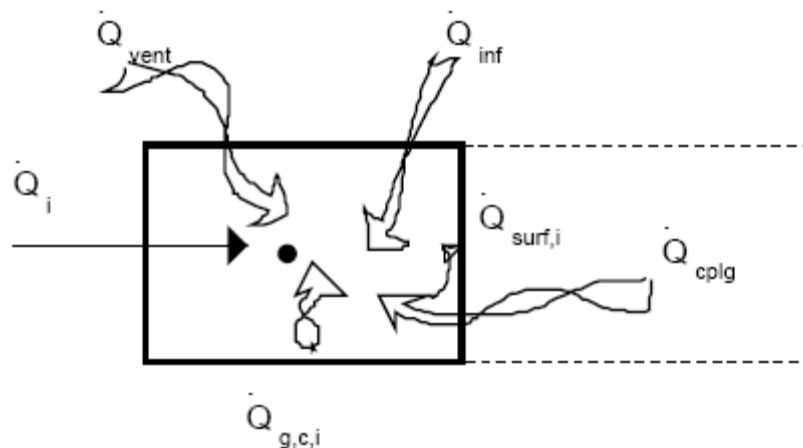
φορτία που προέρχονται από τα δομικά υλικά και να χρησιμοποιηθούν ξανά σε ακόλουθες προσομοιώσεις. Παρόλα αυτά, πολλά δυναμικά χαρακτηριστικά διαφεύγουν λεπτομερών υπολογισμών. Για παράδειγμα, αν οι επιδόσεις μιας θερμαντικής ή ψυκτικής συσκευής είναι αδιάρρηκτα συνδεδεμένες με την θερμοκρασία που καθορίζουν τα φορτία ή από το αν έχει τεθεί σε λειτουργία ή εκτός λειτουργίας σε προηγούμενα χρονικά βήματα, είναι προτιμότερη η επιλογή της λειτουργίας “επίπεδο θερμοκρασίας”.

Στη λειτουργία “temperature level”, η κατάσταση του χώρου επηρεάζεται και από τις εξωτερικές συνθήκες και από τις συσκευές θέρμανσης και ψύξης. Συνήθως χρησιμοποιείται ένας ελεγκτής για τη λειτουργία των συσκευών. Το πλεονέκτημα αυτής της λειτουργίας είναι μια πιο λεπτομερής και ρεαλιστική προσομοίωση για το πως αλληλοεπηρεάζονται ο χώρος και οι συσκευές. Παρόλα αυτά, αφού τα φορτία είναι εξαρτώμενα από τις πηγές θερμότητας και ψύξης, δεν είναι δυνατόν τα υπολογισμένα φορτία να χρησιμοποιηθούν σε μια άλλη προσομοίωση του κτηρίου.

4.2 Μαθηματικό μοντέλο για τη μεταφορά θερμότητας στο πολυζωνικό κτήριο

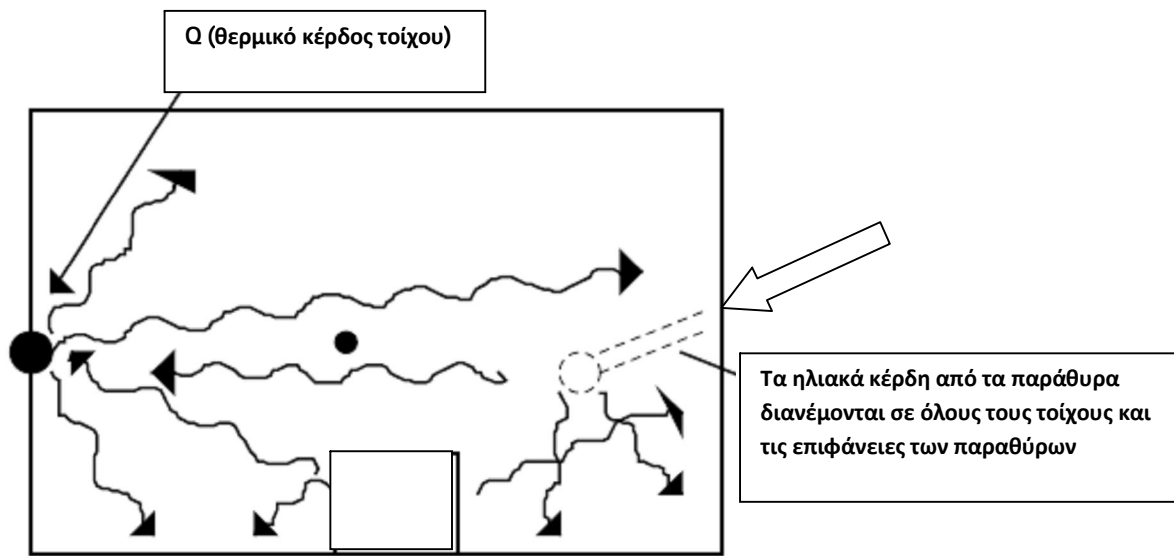
4.2.1 Περιγραφή μοντέλου

Το πολυζωνικό κτήριο προσομοιώνεται με το μοντέλο 56 του προγράμματος TRNSYS. Στο μοντέλο αυτό κάθε ζώνη περιγράφεται από την θερμοχωρητικότητα της, τον όγκο αέρα που περικλείει και την θερμοχωρητικότητα των στοιχείων που βρίσκονται σε αυτήν (π.χ. επίπλωση). Κάθε ζώνη αποτελεί ένα ξεχωριστό υπολογιστικό κόμβο στον οποίο η θερμοχωρητικότητα και ο όγκος της ζώνης αποτελούν ξεχωριστές εισόδους.



Σχ. 33: Θερμική ισορροπία κόμβου της ζώνης

4.2.2 Ροή θερμότητας στον κόμβο δια συναγωγής



Σχ. 34: Ροή ενέργειας δια ακτινοβολίας θεωρώντας ένα τοίχο με τον κόμβο υπολογισμού της θερμοκρασίας της επιφάνειάς του

Σε κάθε κόμβο το συνολικό φορτίο δια συναγωγής Q_i είναι:

$$\dot{Q}_i = \dot{Q}_{\text{surf},i} + \dot{Q}_{\text{inf},i} + \dot{Q}_{\text{vent}} + \dot{Q}_{\text{g},c,i} + \dot{Q}_{\text{cplg},i} \quad (2)$$

όπου:

$Q_{\text{surf},i}$: Θερμικό φορτίο δια συναγωγής από όλες τις εσωτερικές επιφάνειες.

$$Q_{\text{surf},i} = UA (T_{\text{wall},i} - T_{\text{air}})$$

$Q_{\text{inf},i}$: Θερμικό κέρδος από τη διείσδυση αέρα (από τη ροή του αέρα από το εξωτερικό του κτηρίου μόνο).

$$Q_{\text{inf},i} = V \rho c_p (T_{\text{outside}} - T_{\text{air}})$$

$Q_{\text{vent},i}$: Φορτίο αερισμού (από τη ροή του αέρα από δεδομένη πηγή που επιλέγει ο χρήστης, όπως η κλιματιστική μονάδα).

$$Q_{\text{vent},i} = V \rho c_p (T_{\text{ventilation},i} - T_{\text{air}})$$

$Q_{\text{g},c,i}$: Θερμικό κέρδος δια συναγωγής από εσωτερικές πηγές (φορτία ανθρώπων, συσκευών, φωτισμού κτλ.).

$$Q_{\text{g},c,i} = [\text{kJ/h}]$$

$Q_{cplg, i}$ = Θερμικό φορτίο δια συναγωγής λόγω ροής αέρα από γειτονικές ζώνες ή από οριακές συνθήκες.

$$Q_{cplg, i} = V \rho c_p (T_{zone, i} - T_{air})$$

4.2.3 Ροή θερμότητας στον κόμβο από ακτινοβολία στους τοίχους και τα παράθυρα.

Η συνολική θερμότητα δια ακτινοβολίας σε κάθε ζώνη θεωρείται ότι είναι η ακτινοβολία που διέρχεται από τα παράθυρα και προσπίπτει στους τοίχους. Έτσι, η θερμότητα λόγω ακτινοβολίας είναι:

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

Όπου:

$Q_{r, wi}$ = Φορτία ακτινοβολίας στην επιφάνεια του τοίχου.

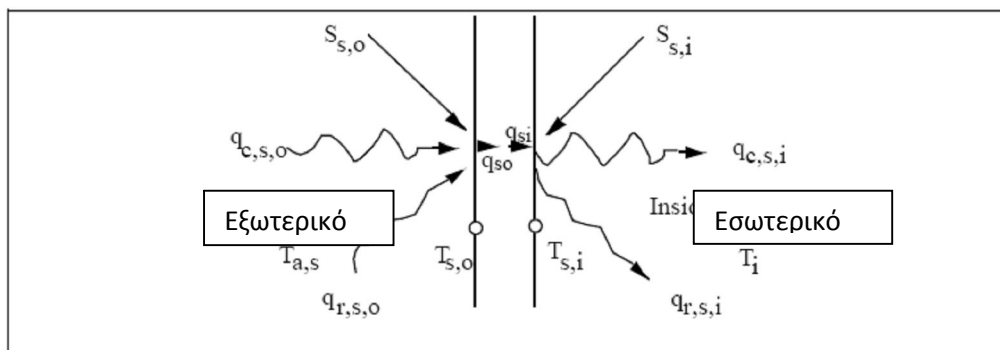
$Q_{g, r, i, wi}$ = Εσωτερικά φορτία ακτινοβολίας της ζώνης που λαμβάνει ο τοίχος.

$Q_{sol, wi}$ = Ηλιακά κέρδη που λαμβάνει ο τοίχος από την διερχόμενη από τους υαλοπίνακες ακτινοβολία.

$Q_{long, wi}$ = Συναλλαγή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους μεταξύ ενός τοίχου με τους υπόλοιπους και τους υαλοπίνακες.

$Q_{wall-gain}$ = Άλλα κέρδη καθορισμένα από τον χρήστη στην επιφάνεια των τοίχων ή των παραθύρων.

4.2.4 Ροή ενέργειας στους τοίχους και τα παράθυρα.



Σχ. 35: Ροή θερμότητας και θερμοκρασίες στις επιφάνειες

Στο παραπάνω σχέδιο φαίνονται οι ροές θερμότητας και οι θερμοκρασίες που καθορίζουν την θερμική συμπεριφορά ενός τοίχου ή παραθύρου. Στο παραπάνω σχήμα τα μεγέθη που φαίνονται είναι:

$S_{s,i}$ = Θερμότητα από ακτινοβολία, απορροφημένη από την εσωτερική πλευρά.

$S_{s,o}$ = Θερμότητα από ακτινοβολία, απορροφημένη από την εξωτερική πλευρά (ηλιακά κέρδη).

$q_{r,s,i}$ = Καθαρή μεταφορά θερμότητας δια ακτινοβολίας με όλες τις άλλες επιφάνειες της ζώνης.

$q_{r,s,o}$ = Καθαρή μεταφορά θερμότητας δια ακτινοβολίας με όλες τις άλλες επιφάνειες που βρίσκονται σε οπτική επαφή με την εξωτερική πλευρά.

$q_{w,g,i}$ = Άλλη ροή θερμότητας καθορισμένη από τον χρήστη στον τοίχο ή στον υαλοπίνακα.

$q_{s,i}$ = Μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής στην εσωτερική επιφάνεια του τοίχου

$q_{s,o}$ = 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.

$q_{c,s,o}$ = Μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής στην εξωτερική επιφάνεια του τοίχου

από τον αέρα του περιβάλλοντος ή το έδαφος

$T_{s,i}$ = Θερμοκρασία εσωτερικής επιφάνειας

$T_{s,o}$ = Θερμοκρασία εξωτερικής επιφάνειας

T_i = Θερμοκρασία ζώνης (Στον κόμβο του αέρα)

$T_{a,s}$ = Θερμοκρασία του αέρα περιβάλλοντος στο εξωτερικό όριο του τοίχου

Οι τοίχοι προσομοιώνονται με βάση τους συντελεστές συνάρτησης μεταφοράς των Mitalas και Arseneault. Για κάθε τοίχο, η συναγωγή στην επιφάνειά του είναι

$$\dot{q}_{s,i} = \sum_{k=0}^{n_{b_s}} b_s^k T_{s,o}^k - \sum_{k=0}^{n_{c_s}} c_s^k T_{s,i}^k - \sum_{k=1}^{n_{d_s}} d_s^k \dot{q}_{s,i}^k \quad (3)$$

$$\dot{q}_{s,0} = \sum_{k=0}^{n_{a_s}} a_s^k T_{s,o}^k - \sum_{k=0}^{n_{b_s}} b_s^k T_{s,i}^k - \sum_{k=1}^{n_{d_s}} d_s^k \dot{q}_{s,0}^k \quad (4)$$

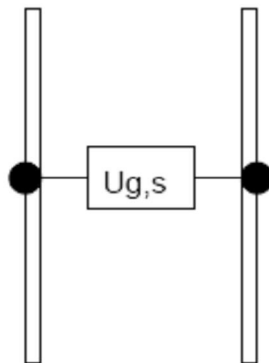
Με αυτές τις χρονικά εξαρτώμενες εξισώσεις υπολογίζονται οι τιμές της ζητούμενης θερμοκρασίας και των ροών θερμότητας για καθορισμένες χρονικές στιγμές. Το χρονικό διάστημα για το οποίο γίνονται οι υπολογισμοί χωρίζεται σε k-1 διαστήματα και οι υπολογισμοί γίνονται για k χρονικές στιγμές έτσι ώστε για k=0 να έχουμε το παρόν, για k=-1 την προηγούμενη χρονική στιγμή, για k=1 την επόμενη χρονική στιγμή κ.ο.κ. Το χρονικό διάστημα το οποίο μελετάται καθορίζεται άμεσα από τον χρήστη μέσω του προγράμματος TRNBUILD. Επίσης οι συντελεστές a,b,c,d καθορίζονται στο πρόγραμμα TRNBUILD.

Τα παράθυρα θεωρούνται εξωτερικοί τοίχοι με μηδενική θερμική μάζα, μερικώς διαπερατά στην ηλιακή ακτινοβολία αλλά δεν συνυπολογίζεται τα εσωτερικά κέρδη από την μεγάλου μήκους ακτινοβολία. Απορρόφηση μεγάλου μήκους ακτινοβολίας γίνεται μόνο από τις επιφάνειες. Στον θερμικό ισολογισμό που αποτελεί τυπική έξοδο του μοντέλου 56 (προσομοίωση κτηρίου) τα παράθυρα περιγράφονται από ένα μοντέλο με δύο κόμβους υπολογισμών, έναν στην εξωτερική επιφάνεια και έναν στην εσωτερική, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Οι παραπάνω εξισώσεις ισχύουν και για τα παράθυρα με:

$\mathbf{a}_s^0 = \mathbf{b}_s^0 = \mathbf{c}_s^0 = \mathbf{U}_{g,s}$, όπου $U_{g,s}$ ο συνολικός συντελεστής απωλειών του υαλοπίνακα

από την εσωτερική στην εξωτερική επιφάνεια.

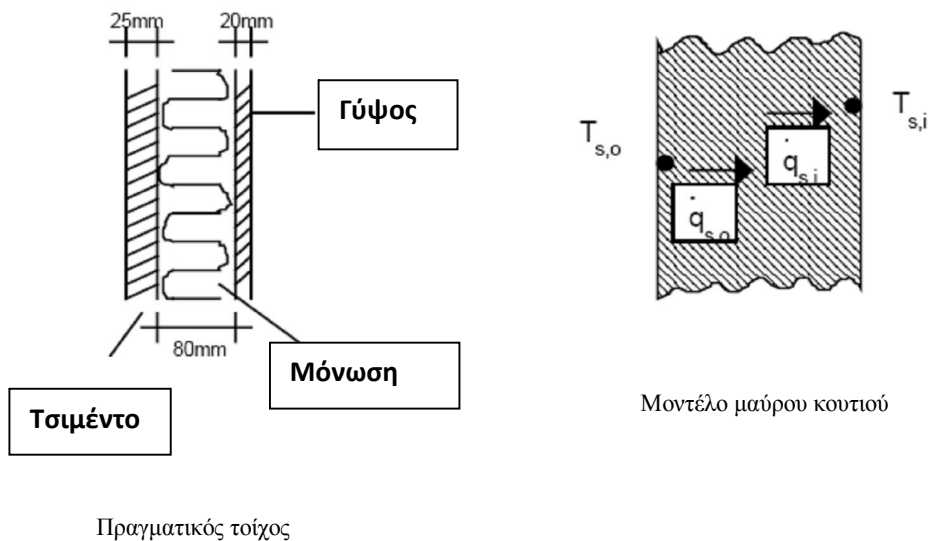
$\mathbf{a}_s^k = \mathbf{b}_s^k = \mathbf{c}_s^k = \mathbf{d}_s^k = \mathbf{0}$, για $k > 0$



Σχ. 36: Υπολογιστικό μοντέλο δύο κόμβων για υαλοπίνακες που χρησιμοποιείται για τον ισολογισμό ενέργειας του μοντέλου 56 του TRNSYS.

4.2.5 Μέθοδος υπολογισμού συντελεστών της συνάρτησης μεταφοράς των Mitalas και Arseneault.

Η μέθοδος συνάρτησης μεταφοράς ή των συντελεστών απόκρισης είναι η μέθοδος στην οποία περιγράφεται η «θερμική ιστορία» του τοίχου. Ο τοίχος θεωρείται ως ένα μαύρο κουτί. Ο αριθμός των χρονικών βημάτων (k) που σχετίζονται με το χρονικό διάστημα που μελετάται δείχνει αν πρόκειται για 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 υπόψη τοίχου είναι μεγαλύτερο από την σταθερά του χρόνου, ο υπολογισμός του πίνακα συντελεστών των συναρτήσεων μεταφοράς σταματά. Έτσι, ένας πολύ λεπτός τοίχος μπορεί να αντικατασταθεί από μια αντίσταση αγνοώντας την θερμική του μάζα. Ως παράδειγμα δίνεται ο υπολογισμός του παρακάτω τοίχου.



Σχ. 37: Πραγματικός τοίχος και μοντέλο μαύρου κουτιού

Στο παράδειγμα ο τοίχος αποτελείται από τρία στρώματα με σειρά από έξω προς τα μέσα: τσιμέντο, φυσικό μαλλί, γύψος.

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

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο συνάρτησης μεταφοράς, το πρόγραμμα TRNBUILD υπολογίζει τους συντελεστές της συνάρτησης μεταφοράς, οι οποίοι για το παράδειγμα είναι οι παρακάτω:

```
----- WALL TYPE EXAMPLE -----  
  
THERMAL CONDUCTANCE, U= 1.76429 kJ/h m2K; k-Wert= 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  0.0000000E+00  
SUM    1.7544627E+00  1.7544627E+00  1.7544627E+00  9.9442759E-01
```

Σχ. 38: Σύστημα εξισώσεων συνάρτησης μεταφοράς (Mitalas)

Για τον υπό μελέτη τοίχο ο πίνακας συντελεστών της συνάρτησης είναι όπως ο παραπάνω. Επιπλέον περιλαμβάνεται ο υπολογισμός του συντελεστή αγωγιμότητας k του τοίχου και του ολικού συντελεστή θερμοπερατότητας U 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. Σημείωση: Αυτοί οι ισοδύναμοι συντελεστές δεν χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Για τον υπολογισμό των τιμών για τα k χρονικά βήματα που δηλώνονται στο αρχείο πληροφοριών (*.INF), χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι ισοδύναμοι συντελεστές.

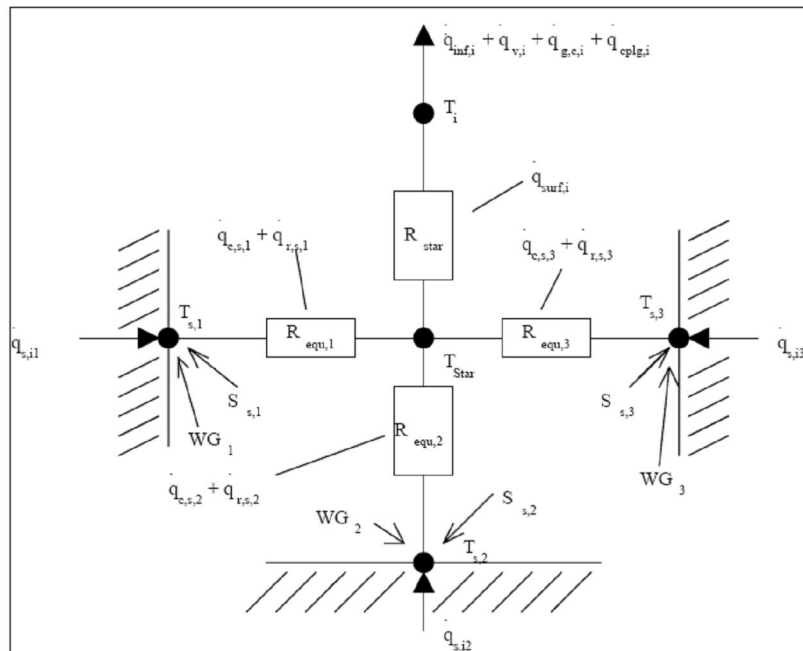
$$\frac{1}{\alpha_i} = 0.13 \frac{1}{\frac{W}{m^2 K}}; \quad \frac{1}{\alpha_o} = 0.04 \frac{1}{\frac{W}{m^2 K}}$$

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 τελευταία επικύρωση για την μέθοδο συνάρτησης μεταφοράς και ολόκληρου του μοντέλου πολυζωνικού κτηρίου (μοντέλο 56) έγινε από τον Peter Voit ìε χρήση λεπτομερών μετρήσεων από το CEC ερευνητικό πρόγραμμα PASSYS.

4.2.6 Ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος

Η συναλλαγή μεγάλου μήκους ακτινοβολίας μεταξύ των επιφανειών εντός 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 στο σχήμα 7. 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 υαλοπίνακα. Συγκρίσεις στο λεπτομερές μοντέλο κτηρίου JOULOTTA του πανεπιστημίου Lund, Σουηδία, το οποίο δημιουργήθηκε από τον S. Holst, ZAE Μονακό, 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 (IEA Task 13 report,)



Σχ. 39: Αστεροειδές δίκτυο για μία ζώνη με τρεις επιφάνειες.

$$R_{STAR, i} = f(\alpha_i, A_{Surf, i}) = \frac{1}{Q_{surf, i}} (T_{Star} - T_i) \quad (5)$$

Στους υπολογισμούς αυτούς χρησιμοποιούνται οι αναλογίες των επιφανειών 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:

$$q_{comb, s, i} = q_{c, s, i} + q_{r, s, i}$$

$$q_{comb, s, i} = \frac{1}{R_{equiv, i} A_{s, i}} (T_{s, i} - T_{star}) \quad (6)$$

Όπου:

$Q_{comb, s, i}$: Συνολική ροή θερμότητας δια διεξαγωγής και ακτινοβολίας

$A_{s, i}$: Εμβαδόν εσωτερικής επιφάνειας.

Για τους εξωτερικούς τοίχους η συναλλαγή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος στην εξωτερική επιφάνεια υπολογίζεται ρητά χρησιμοποιώντας μια φανταστική θερμοκρασία ουρανού, T_{sky} , η οποία αποτελεί είσοδο για το μοντέλο 56, και ένα παράγοντα θέασης στον ουρανό f_{sky} , για κάθε εξωτερική επιφάνεια. Η συνολική θερμότητα $q_{comb,s,o}$ είναι το άθροισμα των θερμότητων δια συναγωγής και ακτινοβολίας:

$$\dot{q}_{comb, s, o} = \dot{q}_{c, s, o} + \dot{q}_{r, s, o} \quad (7)$$

Όπου:

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

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

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

Όπου:

$q_{comb, s, o}$: ισοδύναμη ροή θερμότητας (δια συναγωγής και ακτινοβολίας) 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} : το κλάσμα του ουράνιου θόλου που είναι ορατό από την εξωτερική επιφάνεια.

T_{sky} :

$\epsilon_{s, o}$: εκπομπή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους της εξωτερικής επιφάνειας ($\epsilon=0,9$ για τοίχους, ενώ για τους υαλοπίνακες η τιμή λαμβάνεται από την βιβλιοθήκη υαλοπινάκων)

σ : Σταθερά Stephan-Boltzmann

Σημειώνεται ότι λογική τιμή του f_{sky} για έναν κάθετο τοίχο χωρίς γειτονικά κτήρια είναι $f_{sky}=0,5$. Αν υπάρχουν κτήρια τα οποία κρύβουν μέρος του ουρανού από την επιφάνεια του τοίχου η τιμή του συντελεστή μειώνεται. Για μια οριζόντια οροφή η τιμή του συντελεστή θα πρέπει να είναι $f_{sky}=1,0$

Ο ισολογισμός ενέργειας στην επιφάνεια δίνει:

$$\dot{q}_{s, i} = \dot{q}_{comb, s, i} + S_{s, i} + Wallgain \quad (8)$$

$$\dot{q}_{s,o} = \dot{q}_{comb,s,o} + S_{s,o} \quad (9)$$

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. 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.

4.2.7 Εξωτερικοί Τοίχοι

Η ροή θερμότητας στην εσωτερική επιφάνεια ενός εξωτερικού τοίχου μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του αέρα στα όρια του συστήματος ως ακολούθως:

$$\dot{q}_{s,i} = B_s T_{a,s} - C_s T_{star,i} + D_s \quad (10)$$

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:

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

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

4.2.8 Τοίχοι με οριακές συνθήκες

Η ροή θερμότητας υπολογίζεται με την ίδια εξίσωση που χρησιμοποιείται για τους εξωτερικούς τοίχους αντικαθιστώντας την θερμοκρασία του αέρα $T_{a,s}$ με την οριακή $T_{b,s}$.

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

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

Για τους εσωτερικούς τοίχους, τους παρακείμενους σε γειτονικές ζώνες τοίχους και τους τοίχους οι οποίοι είναι παρακείμενοι σε ζώνες με ίδιες οριακές συνθήκες η ροή θερμότητας υπολογίζεται και πάλι με την ίδια εξίσωση αλλά με τις παρακάτω 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: $T_{a,s} = T_{star,i}$

Επίσης:

$$B_s = \frac{\epsilon_s \frac{1}{R_{equiv,j} A_{s,j}}}{1 - f_s}$$
$$\epsilon_s = \frac{b_s^o}{a_s^o + \frac{1}{R_{equiv,j} A_{a,j}}}$$

Σημείωση: 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:

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

$$B_s = \frac{b_s^0}{1 + c_s^0 R_{equiv,i} A_{s,i}}$$

$$C_s = \frac{c_s^0}{1 + c_s^0 R_{equiv,i} A_{s,i}}$$

$$D_s = \frac{K_{s,i} - c_s^0 R_{equiv,i} A_{s,i} S_{s,i}}{1 + c_s^0 R_{equiv,i} A_{s,i}}$$

4.2.10 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:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{surf,i} = \sum A_s \dot{q}_{comb,i} = & \sum_{j=1}^{Adj.Zones\ surface\ to\ j} \sum_{i=1} A_s B_s T_{star,j} + \sum_{ext.\ surfaces} A_s B_s T_a + \\ & \sum_{int.\ walls} A_s B_s T_{star} + \sum_{known\ bound} A_s B_s T_{b,s} - \sum_{surface\ in\ zone\ i} A_s (C_s T_{star,i} - D_s - S_{s,i}) \end{aligned} \quad (11)$$

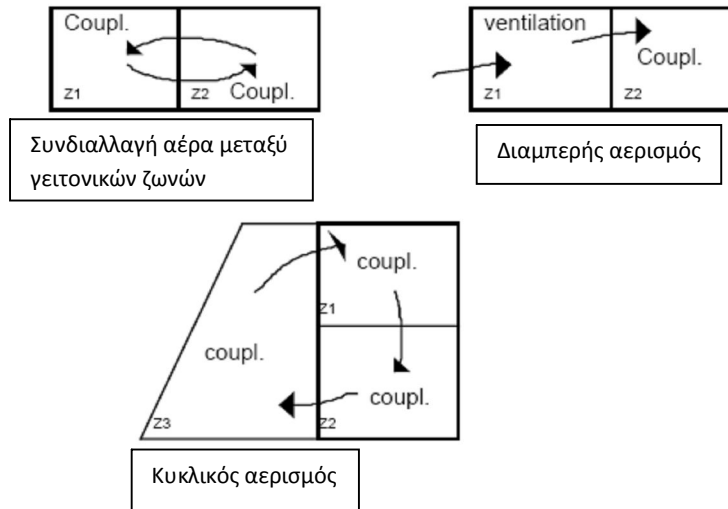
Όπου A_s η εσωτερική επιφάνεια του τοίχου s . Καθώς και οι δύο επιφάνειες ενός εσωτερικού τοίχου είναι εσωτερικές επιφάνειες πρέπει να ληφθούν και οι δύο υπόψη και εισάγονται δύο φορές στην παραπάνω εξίσωση.

Επίσης, με ισολογισμό ενέργειας στον κόμβο του αστεροειδούς δικτύου της ζώνης προκύπτει ότι:

$$\dot{Q}_{surf,i} = \frac{1}{R_{star,i}} (T_{star,i} - T_i) \quad (12)$$

4.2.11 Μεταφορά μάζας αέρα από γειτονικές ζώνες

Η μεταφορά μάζας αέρα την οποία δέχεται μια ζώνη από μια γειτονική της προσομοιώνεται ως μεταφορά θερμότητας από ή προς τον κόμβο του αέρα της ζώνης. Στο πρόγραμμα δεν υπολογίζεται η μεταφορά αέρα με αντίθετη κατεύθυνση που ακολουθεί, όπως θα γινόταν σε μια συνδιαλλαγή αέρα μεταξύ ζωνών. Για να ληφθεί υπόψη η επιστροφή αέρα στη γειτονική ζώνη πρέπει να εισαχθεί από το χρήστη ότι η γειτονική ζώνη δέχεται το ίδιο ποσό αέρα. Ο λόγος για τον οποίο υπάρχει αυτή η σύμβαση είναι για να επιτραπεί στο χρήστη να προσημειώσει διαμπερή ή κυκλικό αερισμού σε 3 ή περισσότερες ζώνες.



Σχ. 40: Είδη αερισμού

Σημείωση: Επειδή δεν υπάρχει ισολογισμός της μεταφερόμενης μάζας αλλά καθορίζεται από τον χρήστη, είναι δυνατόν να δημιουργηθεί υπερπίεση ή υποπίεση σε μία ζώνη ή ακόμα και να αδειάσει τελείως μια ζώνη από αέρα. Για το λόγο αυτό απαιτείται προσοχή ώστε οι τιμές που εισάγονται να έχουν φυσική έννοια

4.2.12 Διείσδυση αέρα, αερισμός, μεταφορά μάζας μεταξύ γειτονικών ζωνών.

Ο ρυθμός διείσδυσης αέρα και αερισμού μιας ζώνης εισάγεται για κάθε ζώνη μέσω του προγράμματος TRNBUILD και δίνεται σε εναλλαγές 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 και είναι είτε σταθερή είτε μεταβαλλόμενη. Στις δύο αυτές περιπτώσεις θεωρείται ότι ίσα ποσά αέρα με αυτά που εισέρχονται 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:

$$\dot{Q}_{inf,i} = \dot{m}_{inf,i} C_p (T_a - T_i) \quad (13)$$

$$\dot{Q}_{v,i} = \sum_k^{nvent} \dot{m}_{v,k,i} C_p (T_{v,k} - T_i) \quad (14)$$

Όπου:

$\dot{m}_{inf,i}$: ρυθμός εισερχόμενης μάζας αέρα από διείσδυση

$m_{v,k,i}$: ρυθμός εισερχόμενης μάζας αέρα από αερισμό

C_p : ειδική θερμότητα του αέρα

$T_{v,k}$: Θερμοκρασία του εισερχόμενου αέρα από αερισμό

T_a : θερμοκρασία περιβάλλοντος

Για κάθε τοίχο η παράθυρο το οποίο διαχωρίζει ζώνες με διαφορετική μεταβαλλόμενη θερμοκρασία καθώς και για κάθε τοίχο με γνωστές οριακές συνθήκες είναι δυνατόν να καθοριστεί μεταφορά μάζας αέρα από στη ζώνη από τη γειτονική της. 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 των ροών θερμότητας που οφείλονται στη μεταφορά μάζας από όλους τους τοίχους και τα παράθυρα της ζώνης. Είναι δηλαδή:

$$\dot{Q}_{cplg,i} = \sum_{adj\ zones} \sum_{surfaces\ sito\ j} \dot{m}_{cplg,s} C_p (T_j - T_i) + \dots + \sum_{known\ bound} \dot{m}_{cplg,s} C_p (T_{b,s} - T_i) \quad (15)$$

Όπου:

$m_{cplg, s}$ = ο ρυθμός εισροής μάζας αέρα στη ζώνη i δια μέσω των τοίχων και των παραθύρων της ζώνης.

4.2.13 Ελεύθερα 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 ή

$$C_i \frac{d}{dt} T_i = \dot{Q}_i \quad (16)$$

Όπου C_i είναι η θερμοχωρητικότητα της ζώνης i (ελάχιστη= $V_i \rho c_p$ όπου V_i ο όγκος της ζώνης)

Το καθαρό θερμικό κέρδος της ζώνης Q_i είναι συνάρτηση της T_i και όλων των θερμοκρασιών των παρακείμενων ζωνών στη ζώνη i . Σημείωση: για την απλοποίηση της επίλυσης του συστήματος εξισώσεων, το Q_i θεωρείται σταθερό κατά τη διάρκεια ενός χρονικού βήματος και εκτιμάται με τις μέσες τιμές των θερμοκρασιών των ζωνών. Σε αυτήν την περίπτωση η επίλυση της διαφορικής εξίσωσης για την εύρεση της θερμοκρασίας της ζώνης για ένα δεδομένο χρονικό βήμα είναι

$$T_{i,\tau} = T_{i,\tau - \Delta t} + \frac{\overline{Q}_i \Delta t}{C_i} \quad (17)$$

Όπου:

Δt : 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 είναι:

$$T_i = \frac{T_{i,\tau} + T_{i,\tau-\Delta t}}{2} \quad (18)$$

Εάν επιλύσουμε την εξίσωση αυτή ως προς την $T_{i,\tau}$ και βάλουμε το αποτέλεσμα στην παραπάνω εξίσωση μαζί με τις ανεξάρτητες εκφράσεις του καθαρού θερμικού κέρδους, λαμβάνουμε την ακόλουθη έκφραση:

$$\frac{2C_i(\bar{T}_i - T_{i,\tau-\Delta t})}{\Delta t} = \sum_{j=1}^{\text{zones to } j} \sum_{\text{surfaces}} \dot{m}_{cp1g,s} C_p \bar{T} + \dot{m}_{inf,i} C_p T_a + \sum_{\text{known bound}} \frac{d}{dt} \dot{m}_{icp1g,s} C_p T_{b,s}$$

$$- \left(\frac{1}{R_{star,j}} - \sum_{\text{known boundaries}} \dot{m}_{cp1g,i} + \sum_{\text{surfaces to } j} \dot{m}_{cp1g,s} + \dot{m}_{inf,i} \dot{m}_{v,i} \right) \bar{T}_i + \sum \dot{m}_{v,k} + \dot{Q}_{g,c,i} \quad (19)$$

Τα συνολικά κέρδη μίας ζώνης από το σύνολο των επιφανειών μπορεί τώρα να γραφεί και ως:

$$\left(\frac{1}{R_{star,i}} - \sum_{\text{int. walls}} A_s B_s + \sum_{\text{surf. in } i} A_s C_c \right) \bar{T}_{star,i} - \left(\sum_{\text{adj. zone walls } i \text{ to } j} \sum A_s B_s \right) \bar{T}_{star,j} -$$

$$\frac{1}{R_{star,i}} \bar{T}_i = \left(\sum_{\text{exterior surfaces}} A_s B_s \right) T_a + \sum_{\text{known boundaries}} A_s B_s T_{b,s} + \sum_{\text{surface in zone } i} A_s (D_s + S_{s,i}) \quad (20)$$

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. Σε μορφή πινάκων:

$$[X][\bar{T}] = [Z] \quad (21)$$

Οι πίνακες μπορεί να είναι της μορφής:

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

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

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

Όπου:

$$X_{11,ii} = \left(\sum_{\substack{\text{surfaces} \\ \text{to } j}} \dot{m}_{cp1g,s} + \dot{m}_{inf,i} + \dot{m}_{v,j} \right) C_p + \frac{2C_i}{\Delta t} + \frac{1}{R_{star,i}} + \sum_{\substack{\text{known} \\ \text{boundaries}}} \dot{m}_{cp1g,i}$$

$$X_{11,ij} = \sum_{\substack{\text{surfaces} \\ \text{to } j}} \dot{m}_{cp1g,s} C \text{ for } i \neq j_p$$

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

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

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

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

$$X_{22,ii} = \sum_{\substack{\text{int.} \\ \text{walls}}} A_s B_s + \sum_{\substack{\text{surf.} \\ \text{in zone } i}} A_s C_s$$

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

$$Z_{1,i} = \dot{m}_{inf,i} C_p T_a + \sum_{\substack{\text{surfaces} \\ \text{to } j}} \dot{m}_{cp1g,s} C_p T_{b,s} + \sum_k^{nvent} \dot{m}_{v,k,i} C_p T_{v,k}$$

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

Στην περίπτωση που σε όλες τις ζώνες η θερμοκρασία μεταβάλλεται ελεύθερα ισχύει ότι:

$$[\mathbf{T}] = [\mathbf{X}]^{-1} [\mathbf{Z}] \quad (22)$$

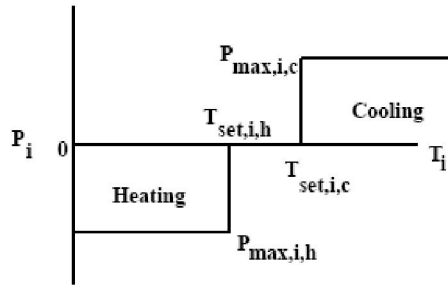
Η τελική θερμοκρασία κάθε ζώνης είναι:

$$T_{i,\tau} = 2\bar{T}_i - T_{i,\tau} - \Delta t \quad (23)$$

Σημείωση: Οι μέσες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια ενός χρονικού βήματος αποτελούν έξοδο του μοντέλου 56 (μοντέλο πολυζωνικού κτηρίου). Το γεγονός αυτό ακολουθεί τη γενικότερη αρχή του υπολογιστικού πακέτου TRNSYS να δίνει αποτελέσματα ως μέσες τιμές κατά τη διάρκεια του τελευταίου χρονικού βήματος.

4.2.14 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 στο σχήμα 8.



Σχ. 41: Ισχύς – Θερμοκρασία

Όπου:

P_i : εξερχόμενη ισχύς συσκευής στη ζώνη i (- θέρμανση, +ψύξη)

P_{max} : απόλυτη τιμή της μέγιστης τιμής για τη ζώνη i

$T_{set,i}$: επιθυμητή θερμοκρασία για τη 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 έτσι 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 κατά τη διάρκεια ενός χρονικού βήματος, τότε η τελική και η μέση θερμοκρασία της ζώνης είναι γνωστές:

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

$$T_{req,i} = \frac{T_{\tau-\Delta t} + T_{set,i}}{2} \quad (24)$$

Όπου:

$T_{reg,i}$: μέση θερμοκρασία ζώνης κατά τη διάρκεια ενός χρονικού βήματος στην περίπτωση που απαιτείται λιγότερη ενέργεια από τη μέγιστη της συσκευής. Για τις ζώνες στις οποίες η θερμοκρασία μεταβάλλεται ελεύθερα, η λύση των μέσων τιμών της θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας αστεροειδούς δικτύου είναι πάλι της μορφής

$$[\bar{T}] = [X']^{-1} [Z'] \quad (25)$$

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

$$X'_{ij} = X_{ij} \text{ για όλα τα } i \text{ και } j$$

$$Z'_i = Z_i$$

Για τις ζώνες στις οποίες η θερμοκρασία πέφτει κάτω από το όριο για μέγιστη θέρμανση ή ξεπερνάει το όριο για μέγιστη ψύξη ισχύει:

$$X'_{ij} = X_{ij} \text{ για όλα τα } i \text{ και } j$$

$$Z'_i = Z_i + P_{\max,i,h} \text{ ή } Z'_i = Z_i - P_{\max,i,c}$$

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 $T_{req,i}$. Για τον υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής της εσωτερικής ενέργειας της ζώνης μπορούμε να συμπεριλάβουμε τις ενεργειακές απαιτήσεις της ζώνης και έχουμε ότι:

$$C_i \frac{d}{dt} T = \dot{Q}_i - P_i \quad (26)$$

Οι P_i και Q_i θεωρούνται σταθερά κατά τη διάρκεια του χρονικού βήματος και η Q_i εκτιμάται με τη μέση θερμοκρασία της ζώνης. Αντικαθιστώντας στην παραπάνω εξίσωση έχουμε:

$$\begin{aligned} \bar{P}_i - \frac{1}{R_{star,i}} T_{star,i} - \sum_{\substack{adj. \text{ surfaces} \\ zones \text{ to } j}} \sum m_{cp,lg} C_p \bar{T}_j = \\ - \left[\frac{1}{R_{star,i}} + \left(\dot{m}_{inf,i} + \dot{m}_{v,i} + \sum_{\substack{surfaces \\ \text{to } j}} \dot{m}_{cp,lg} + \sum_{\substack{known \\ bound}} \dot{m}_{cp,lg} \right) C_p \right] \bar{T}_{req,i} \\ - \frac{C_i}{\Delta t} (T_{set,i} - T_{r-\Delta t}) + \dot{m}_{inf} C_p T_a + \sum_k \dot{m}_{v,k} C_p T_{v,k} + \dot{Q}_{g,c,i} + \sum_{\substack{known \\ bound}} \frac{d}{dt} m_{cp,lg} C_p \bar{T}_b \end{aligned} \quad (27)$$

Η παραπάνω εξίσωση εισάγεται στους ισολογισμούς ενέργειας όλων των ζωνών των οποίων οι ενεργειακές ανάγκες μπορούν να καλυφθούν από τις συσκευές. Οι λύσεις της εξίσωσης $[\bar{T}] = [X']^{-1} [Z']$ ισχύουν με τις ακόλουθες αντικαταστάσεις:

$$X'_{11,ij} = X_{11,ij}$$

$$X'_{11,ii} = 1.0$$

$$X'_{12,ij} = X_{12,ij}$$

$$X'_{22,ii} = X_{22,ii}$$

Σημείωση: 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.

Επίσης η εξίσωση :

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

Διορθώνεται αντικαθιστώντας και στα δύο μέλη τον όρο $\left(\frac{1}{R_{star,i}} T_{req,i} \right)$.

Τότε προκύπτει:

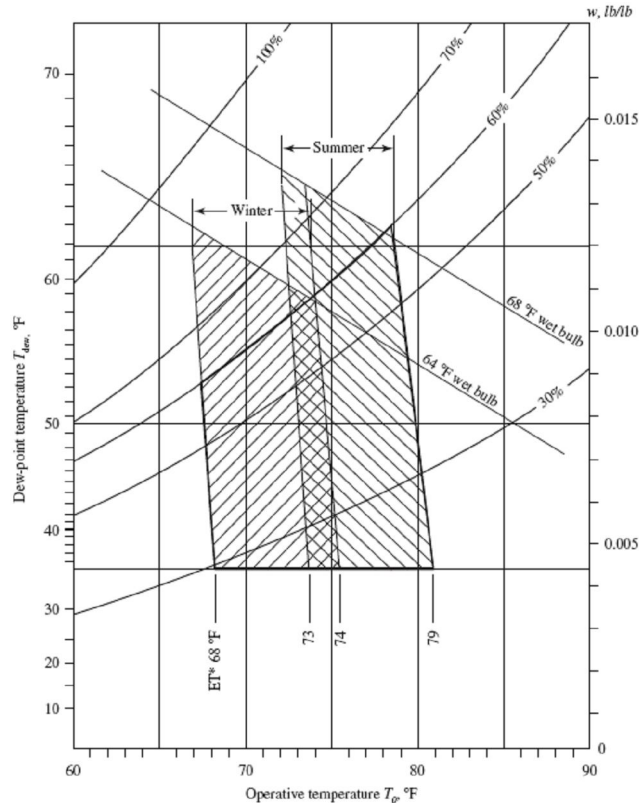
$$X'_{21,ii} = 0$$

$$Z'_{2,i} = Z_{2,i} - X_{11,ii} T_{req,i}$$

Για κάθε ζώνη i παρακείμενη σε μια ζώνη m με σταθερή θερμοκρασία, ο πίνακας X' και το διάνυσμα Z' τροποποιούνται ως εξής:

$$X'_{11,im} = 0$$

$$Z'_i = Z'_i - X'_{im} T_{req,m}$$



Σχ. 42 Περιοχές θερμικής άνεσης της ASHRAE

Για να υπολογιστούν επιτρεπτά όρια στα οποία θα κυμαίνεται η θερμοκρασία, 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.

4.2.15 Το χρονικό βήμα της προσομοίωσης σε σχέση με το χρονικό βήμα των υπολογισμών των τοίχων.

Η εξίσωση (10) δίνει τη μεταφορά θερμότητας στην εσωτερική επιφάνεια των τοίχων με βάση την εσωτερική και την εξωτερική θερμοκρασία. Εφόσον βασίζεται στις χρονικά εξαρτώμενες εξισώσεις (3) και (4), η επίλυση είναι σωστή μόνο όταν οι θερμοκρασίες δίνονται ως μέσες τιμές για το κάθε ποδόστημα της χρονικής ακολουθίας. Η διαφορική εξίσωση που περιγράφει τον ρυθμό της μεταβολής της εσωτερικής ενέργειας της ζώνης, λύνεται από την άλλη πλευρά 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:

$$\overline{\dot{q}_{s,i,\Delta t_b}} = B_s \overline{T_{i,\Delta t_b}} + C_s \overline{T_{a,s,\Delta t_b}} + D_s \quad (28)$$

Όπου, Δt_b αναφέρεται στο χρονικό βήμα των υπολογισμών του τοίχου.

Οι μέσες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα της ζώνης είναι:

$$\overline{T_{i,\Delta t_b}} = \frac{\sum_{\text{over timebase}} T_{i,\Delta t} \Delta t}{\Delta t_b} \quad (29)$$

$$\overline{T_{a,s,\Delta t_b}} = \frac{\sum_{\text{over timebase}} T_{a,s,\Delta t} \Delta t}{\Delta t_b} \quad (30)$$

Αν οι εξισώσεις (29),(30) αντικατασταθούν στην (28) τότε:

$$\begin{aligned} \overline{\dot{q}_{s,i,\Delta t_b}} &= \sum_{\text{over timebase}} \left(B_s \overline{T_{i,\Delta t}} + C_s \overline{T_{a,s,\Delta t}} + D_s \right) \frac{\Delta t}{\Delta t_b} \\ &= \frac{\sum_{\text{over timebase}} \dot{q}_{s,i,\Delta t} \Delta t}{\Delta t_b} \quad (31) \end{aligned}$$

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 εξίσωση (10). 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 βαρείς τοίχους για τοίχους με μεγάλο πάχος, 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. Στην περίπτωση αυτή, οι λεπτοί τοίχοι πρέπει να αντικατασταθούν και να περιγραφούν

χρησιμοποιώντας στρώσεις με αντιστάσεις. Στην περίπτωση αυτή η ροή θερμότητας υπολογίζεται με βάση το χρονικό βήμα για τους υπολογισμούς τοίχων από την εξίσωση (31).

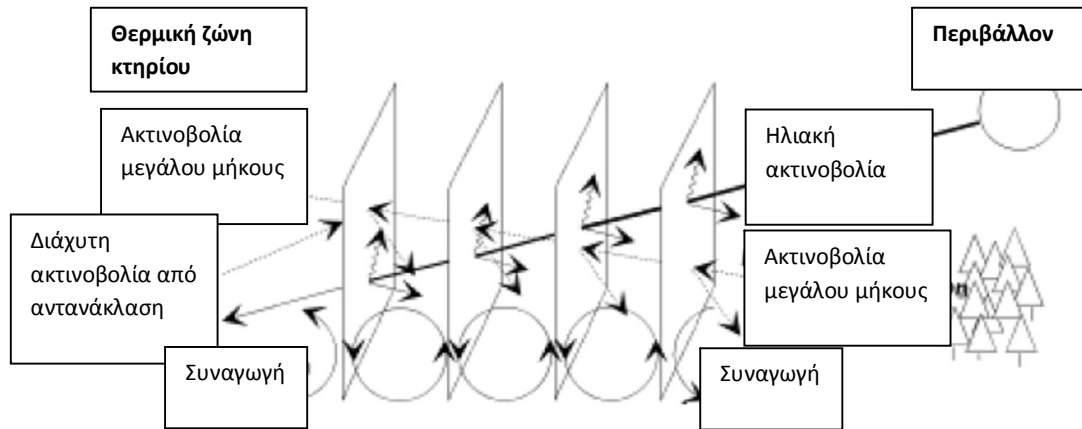
4.3 Οπτικές και θερμικές ιδιότητες παραθύρων.

Το 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. Το μαθηματικό μοντέλο περιγράφεται παρακάτω.

4.3.1 Περιγραφή των παραθύρων.

Τα παράθυρα μπορούν να αποτελούνται από έξι το πολύ ανεξάρτητες επιφάνειες η μία πίσω από την άλλη, έχοντας ανάμεσά τους έως και πέντε διαφορετικά αέρια. Κάθε επιφάνεια 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 ή της εσωτερικής σκίασης καθώς και της μεταφοράς θερμότητας δια μέσου αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολία μεγάλου μήκους, μεταξύ των ανεξάρτητων επιφανειών του παραθύρου με τον εσωτερικό χώρο και το περιβάλλον.



Σχ. 43: λεπτομερές μοντέλο υαλοπινάκων

4.3.2 Μοντέλο παραθύρου με ολική ακτινοβολία δύο περιοχών

Στο μοντέλο αυτό 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:

$$I_{\text{dif visual}} = 0.466 \cdot I_{\text{dif solar}} \quad [\text{Kj/h m}^2] \quad (32)$$

$$I_{\text{dir visual}} = 0.466 \cdot I_{\text{dir solar}} \quad [\text{kJ/h m}^2] \quad (33)$$

Το μη ορατό μέρος της ακτινοβολίας μπορεί έτσι να υπολογισθεί με τις παρακάτω εξισώσεις:

$$I_{\text{dif non visual}} = (1 - 0.466) \cdot I_{\text{dif solar}} \quad [\text{Kj/h m}^2] \quad (34)$$

$$I_{\text{dir non visual}} = (1 - 0.466) \cdot I_{\text{dir solar}} \quad [\text{Kj/h m}^2] \quad (35)$$

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 αναρροφούμενης 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 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.

4.3.3 Εκπομπή της ηλιακής ακτινοβολίας

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 και της εκπομπής κάθε επιφάνειας εκτελείται ημισφαιρικά για την διάχυτη ακτινοβολία και με βήμα 10° της προσπίπτουσας γωνίας για την άμεση ακτινοβολία. Μαζί με τις θερμικές ιδιότητες των ενδιάμεσων αερίων και της συναγωγής 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 με παραθύρων με χρήση του προγράμματος WINDOWS 4.1 έτσι ώστε να είναι διαθέσιμα στο χρήστη ορισμένοι συνηθισμένοι τύποι υαλοπινάκων.

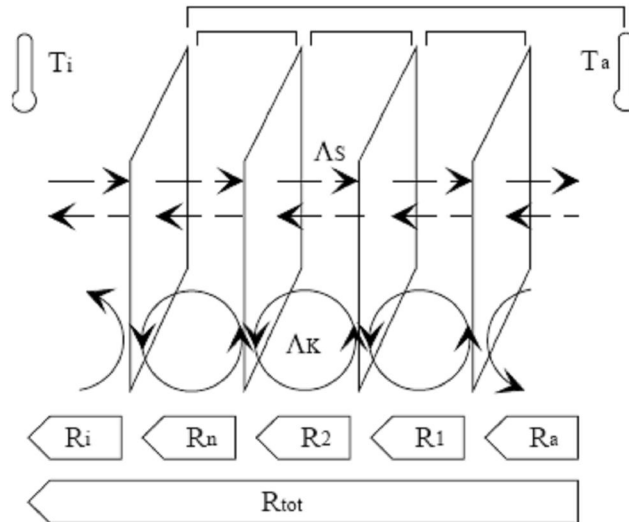
Τα δεδομένα αυτά διαβάζονται από το μοντέλο 56 και δημιουργείται μια καμπύλη με παρεμβολή χρησιμοποιώντας μια αναδρομική συνάρτηση.

$$y = x \cdot (2 - x + (1 - x)^2 \cdot (c1 + c2 \cdot (2 + x))) \quad (36)$$

Χρησιμοποιώντας τα νέα δεδομένα, υπολογίζονται η μετάδοση της ηλιακής ακτινοβολία και η συνολική απορρόφηση της ακτινοβολία μικρού μήκους από κάθε υαλοπίνακα του παραθύρου.

4.3.4 Ροή θερμότητας μεταξύ των ενδιάμεσων επιφανειών του παραθύρου

Η ροή θερμότητας μεταξύ των ανεξάρτητων επιφανειών φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Η συναγωγή, η αγωγή και η ακτινοβολία μεγάλου μήκους υπολογίζονται ξεχωριστά.



Σχ. 44: Μοντέλο αντιστάσεων μεταξύ των επιφανειών του παραθύρου

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

$$\dot{Q}_{n-a} = k_{n-a} A (T_n - T_a) \quad (37)$$

Όπου:

$$k_{n-a} = \frac{1}{\sum_{jj} R_{jj} + R_a}, \quad R_{jj} = \frac{1}{\Lambda_{jj}}$$

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

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

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

$$\Lambda_{rad} = 4 \sigma (T_{mean})^3 \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} \quad (38)$$

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

$$\Lambda_k = Nu \cdot \frac{\lambda(T)}{s} \quad (39)$$

$$Ra = \frac{g \Delta T L^3}{T \mu \alpha} \quad (40)$$

$$Nu = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708(\sin(1.8\beta))^{1.6}}{Ra \cos \beta} \right] \left[1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right]^+ + \left[\left(\frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]^+ \quad (41)$$

4.3.5 Απορρόφηση ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος

Οι υπολογισμοί για την απορρόφηση της ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος λαμβάνουν υπόψη την άμεση και έμμεση ηλιακή ακτινοβολία, την ακτινοβολία που αντανακλάται από όλες τις επιφάνειες στο εσωτερικό της ζώνης καθώς και την εσωτερική σκίαση. 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:

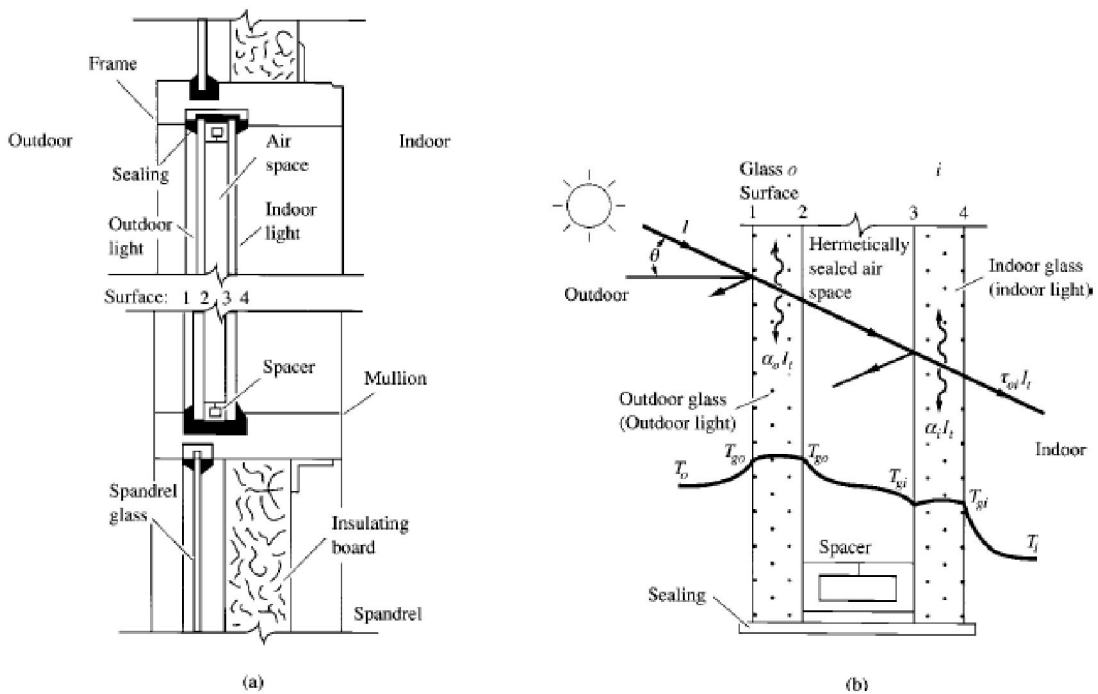
$$\dot{Q}_{abs, i} = \sum_{i \rightarrow n} \left(\left(I_{dir} abs_{dir, i} + I_{dif} abs_{dif, i} + (I_{ref, z} + I_{ref, sh}) abs_{dif, i, b} \right) \frac{R_{i-1} + R_a}{R_{tot}} \right) \quad (42)$$

Μπορεί ναδειχθεί ότι η συνολική ροή θερμότητας από τους υαλοπίνακες μπορεί να χωριστεί στις θερμικές απώλειες που εξαρτώνται μόνο από τις θερμοκρασιακές διαφορές και στην απορρόφηση της 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 ένα πλαίσιο παραθύρου, είτε από κάποιον υαλοπίνακα ενός εσωτερικού ή εξωτερικού παραθύρου, είτε να εξέλθει ξανά στο περιβάλλον διαμέσω 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.

4.3.6 Επαναληπτική επίλυση για την εύρεση της θερμοκρασίας υαλοπινάκων

Η απορρόφηση της ακτινοβολίας μικρού μήκους οδηγεί στην αύξηση της θερμοκρασίας κάθε ανεξάρτητου υαλοπίνακα. Συνεπώς 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 προκύψει μικρότερη από ένα δοσμένο όριο.

4.3.7 Συνολική ροή θερμότητας δια μέσω των υαλοπινάκων



Σχ. 45 Ροή θερμότητας σε διπλό υαλοπίνακα. (α) Τυπική κατασκευή διπλού υαλοπίνακα (β) Ροή θερμότητας και προφίλ θερμοκρασιών

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:

$$\dot{Q}_{abs,i} = 0.5 \cdot (\dot{Q}_{abs} + h_i \cdot (T_i - T_{zone}) - h_{c,o} \cdot (T_o - T_{amb}) - \dot{Q}_{sky}) \quad (43)$$

$$\dot{Q}_{abs,a} = \dot{Q}_{abs} - \dot{Q}_{abs,i} \quad (44)$$

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.

4.3.8 Διόρθωση άκρων και πλαισίου παραθύρου

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 WINDOW και διαβάζονται από την βιβλιοθήκη παραθύρων. Η τιμή του u του παραθύρου υπολογίζεται με υπέρθεση τιμής του για το κέντρο (u_{centr}) και για την άκρη του παραθύρου (u_{edge}):

$$u_{edge} = c_{edge,1} + c_{edge,2} \cdot u_{centr} + c_{edge,3} \cdot u_{centr}^2 \quad (45)$$

$$u_{glass} = (A_{centr} \cdot u_{centr} + A_{edge} \cdot u_{edge}) / (A_{centr} + A_{edge}) \quad (46)$$

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

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:

$$u_{window} = f_{frame} \cdot u_{frame} + (1 - f_{frame}) \cdot u_{glass} \quad (47)$$

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.

4.3.9 Εξωτερική και εσωτερική σκίαση

Σε κάθε εξωτερικό παράθυρο μπορούν να προστεθούν εξωτερικά και εσωτερικά σκίαστρα. Στα εσωτερικά παράθυρα υπάρχει επίσης η δυνατότητα να προστεθεί

εσωτερικό σκίαστρο για την επιφάνεια του η οποία προσδιορίζεται ως πρόσθια (FRONT) στην περιγραφή του κτηρίου. Τα εξωτερικά σκίαστρα μειώνουν την εισερχόμενη ακτινοβολία δια μέσω των υαλοπινάκων κατά ένα ποσοστό το οποίο δίδεται στην περιγραφή του κτηρίου. Επίσης μπορεί να καθορισθεί μια θερμική αντίσταση η οποία περιορίζει τις απώλειες του υαλοπίνακα προς το περιβάλλον όταν η εξωτερική σκίαση είναι ενεργή.

Η εσωτερική σκίαση εισάγεται καθορίζοντας την μείωση της εισερχόμενης ακτινοβολίας, τον συντελεστή αντανάκλασης και για της δύο επιφάνειες του σκιάστρου και μία παράμετρο που καθορίζει την επιπρόσθετη θερμότητα μέσω συναγωγής προς τον κόμβο του αέρα της ζώνης. Το μοντέλο λαμβάνει υπόψη τις αλληλέπληλες αντανακλάσεις μεταξύ της εσωτερικής σκίασης και του υαλοπίνακα οι οποίες μπορούν να περιγραφούν από μια σειρά. Η σειρά αυτή μπορεί να επεκταθεί και να έχει άπειρους όρους η μορφή της οποίας είναι η ακόλουθη:

$$\begin{aligned} \dot{q}_{int,sh} = & \left[f_{int,sh} (1 - refl_{sh,o}) + (1 - f_{int,sh}) \left(\frac{refl_{win,i} f_{int,sh} (1 - refl_{sh,i})}{1 - refl_{win,i} f_{int,sh} refl_{sh,i}} \right) \right] I_{ref,z} + \\ + trans_{win} & \left(\frac{f_{int,sh} (1 - refl_{sh,i})}{1 - f_{int,sh} refl_{sh,i} refl_{win,i}} \right) I \end{aligned} \quad (48)$$

Όπου:

$f_{int,sh}$: το κλάσμα της μη διαπερατής επιφάνειας της εσωτερικής σκίασης προς την επιφάνεια του υαλοπίνακα

$refl_{sh,i}$: ανάκλαση της επιφάνειας του εσωτερικού σκιάστρου προς τον υαλοπίνακα

$refl_{sh,o}$: ανάκλαση της επιφάνειας του σκιάστρου προς το δωμάτιο

$refl_{win,i}$: ανάκλαση της επιφάνειας του υαλοπίνακα προς την επιφάνεια του εσωτερικού σκιάστρου

$trans_{win}$: η συνολική διαπερατότητα όλων των υαλοπινάκων του παραθύρου.

Ο υπολογισμός αυτός εκτελείται ξεχωριστά με τα χαρακτηριστικά της οπτικής του σκιάστρου για την άμεση και την διάχυτη ακτινοβολία και η συνολική απορρόφηση του εσωτερικού σκιάστρου δίδεται από το άθροισμα της απορρόφησης της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας.

Θεωρώντας ότι το εσωτερικό σκίαστρο βρίσκεται τοποθετημένο ακριβώς πίσω από τον υαλοπίνακα, υπάρχει μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής η οποία καταλήγει στην εμφάνιση του φαινομένου της καμινάδας όπου ο ενδιάμεσος αέρας θερμαίνεται λόγω της απορρόφησης ακτινοβολίας από την επιφάνεια του σκιάστρου. Η αναρροφούμενη ακτινοβολία από το εσωτερικό σκίαστρο δίδεται ως το γινόμενο της διερχόμενης ακτινοβολίας και του κλάσματος της σκιασμένης επιφάνειας του υαλοπίνακα, λαμβάνοντας υπόψη την αντανακλώμενη ακτινοβολία και το ποσοστό που μεταφέρεται στον αέρα μέσω της επιπρόσθετης συναγωγής:

$$\dot{q}_{abs} = \dot{q}_{int,sh} (1 - c_{conv,sh}) \quad (49)$$

Η επιπρόσθετη ροή θερμότητας δια συναγωγής στον κόμβο του αέρα δίδεται γι' αυτόν τον λόγο ως εξής:

$$\dot{q}_{conv,sh} = \dot{q}_{int,sh} c_{conv,sh} \quad (50)$$

4.3.10 Κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας

Η εισερχόμενη άμεση ηλιακή ακτινοβολία διανέμεται αναλόγως των συντελεστών κατανομής (GEOSURF) οι οποίοι καθορίζονται στην περιγραφή του κτηρίου. Οι συντελεστές αυτοί σχετίζονται με την άμεση, εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και δεν σχετίζονται με την επιφάνεια. Το άθροισμα των συντελεστών κατανομής για όλους τους εσωτερικές επιφάνειες πρέπει να είναι ίσο με την μονάδα. Το κλάσμα της εισερχόμενης άμεσης ακτινοβολία που απορροφάται από μία επιφάνεια i δίδεται από το γινόμενο του συντελεστή ηλιακής απορρόφησης α_s με τον συντελεστή GEOSURF της επιφάνειας αυτής. Αν οι συντελεστές όλων των τοίχων μιας ζώνης είναι ίσες με το μηδέν, τότε όλη η άμεση, εισερχόμενη ακτινοβολία θεωρείται διάχυτη και κατανέμεται στους τοίχους με βάση τους ακόλουθους συντελεστές βαρύτητας.

Σημείωση: Η κατανομή της άμεσης ακτινοβολίας είναι ανεξάρτητη των επιφανειών των τοίχων και συνεπώς είναι δυνατόν να συγκεντρωθεί όλη η εισερχόμενη ακτινοβολία σε μια μικρή επιφάνεια δίδοντας για την επιφάνεια αυτή έναν υψηλό συντελεστή κατανομής. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη πολύ υψηλής θερμοκρασίας στον τοίχο και πιθανή αστάθεια κατά την επίλυση των εξισώσεων του ενεργειακού ισολογισμού από το μοντέλο 56.

Στην περίπτωση που η ακτινοβολία διέρχεται από εσωτερικά παράθυρα, αν διέλθει περισσότερα των δύο, η ακτινοβολία θεωρείται διάχυτη. Για να διέλθει η άμεση ακτινοβολία από πολλές ζώνες, όπως σε ένα αίθριο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα φανταστικό παράθυρο.

Η εισερχόμενη διάχυτη ακτινοβολία και η ανακλώμενη ακτινοβολία κατανέμεται στους τοίχους με συντελεστές βαρύτητας. Το μέρος της διάχυτης ακτινοβολίας που απορροφάται από μία επιφάνεια i είναι:

$$f_{dif,i,s} = \frac{\alpha_s A_s}{\sum_{surfaces} (1 - \rho_{d,s}) A_s} \quad (51)$$

Όπου:

α_s : ο συντελεστής απορρόφησης της επιφάνειας

$\rho_{d,s}$: η ανάκλαση της διάχυτης ακτινοβολίας της επιφάνειας.

Για τους τοίχους όπου $\tau_s=0$, $\rho_{d,s}=(1-\alpha_s)$.

Για τα παράθυρα οι απώλειες κατά την διέλευση υπολογίζονται ως:

$$\tau_s = (1 - \alpha_s - \rho_{d,s})$$

$\rho_{d,s}$: ανάκλαση της διάχυτης ακτινοβολίας από την εσωτερική πλευρά

4.3.11 Κατανομή της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους

Για την συναλλαγή της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους και για τα εσωτερικά κέρδη, όλοι οι τοίχοι θεωρούνται ότι είναι μαύροι. Αυτά τα κέρδη κατανέμονται ανάλογα με τις αναλογίες των επιφανειών. Το κλάσμα των εσωτερικών κερδών δια ακτινοβολίας που απορροφάται από μία επιφάνεια s είναι:

$$f_{1,s} = \frac{A_s}{\sum \text{surfaces } A_s} \quad (52)$$

5 Περιγραφή των προγραμμάτων προσομοίωσης.

5.1 Γενικά

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά την ενεργειακή συμπεριφορά ενός θεωρητικού κτηρίου γραφείων στην περιοχή της Αθήνας μεταβάλλοντας:

- i. Τον προσανατολισμό του κτηρίου, στρέφοντας το κτήριο ανά 30° και μέχρι να στραφεί 180° σε σχέση με τον αρχικό.
- ii. Το είδος των εξωτερικών τοίχων του κτηρίου, χρησιμοποιώντας τρεις τοίχους κατασκευασμένους σύμφωνα με τις ελληνικές προδιαγραφές.
- iii. Το είδος της οροφής του κτηρίου, χρησιμοποιώντας τρεις οροφές κατασκευασμένες σύμφωνα με τις ελληνικές προδιαγραφές.
- iv. Το είδος των υαλοπινάκων, χρησιμοποιώντας τέσσερις υαλοπίνακες από την βιβλιοθήκη του προγράμματος κατασκευασμένους με τα πρότυπα της ASHRAE.
- v. Τοποθέτηση εξωτερικής σταθερής σκίασης στους υαλοπίνακες, οριζόντιας στους νότιους και κατακόρυφης στα ανατολικά και δυτικά και εξωτερικής κινητής σκίασης. Ειδικά για τη σταθερή οριζόντια σκίαση γίνεται μελέτη για την επίτευξη βέλτιστου αποτελέσματος λαμβάνοντας υπόψη δύο παραμέτρους. Το μήκος του σκιάστρου και την απόστασή του από το άνω μέρος του υαλοπίνακα.
- vi. Χρήση φυσικού αερισμού κατά τη διάρκεια της νύκτας κατά τους θερινούς μήνες.

Τέλος γίνεται σύγκριση του συμβατικά κατασκευασμένου κτηρίου με το ενεργειακά σχεδιασμένο κτήριο, στο οποίο έχουν ληφθεί οι βέλτιστες παράμετροι με βάση τις παραπάνω μελέτες.

Οι προσομοιώσεις γίνονται στον ανώτερο όροφο του κτηρίου, ο οποίος δέχεται και τα μεγαλύτερα φορτία λόγω πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στην οροφή του.

5.2 Περιγραφή του υπό μελέτη ορόφου

Ο όροφος που μελετάται είναι ο τελευταίος ενός πολυώροφου κτηρίου και χωρίζεται σε οκτώ (8) θερμικές ζώνες. Στον όροφο εργάζονται συνολικά 14 άτομα από τις 8:00π.μ. – 18:00π.μ. που είναι και οι ώρες λειτουργίας του γραφείου. Οι χώροι του ορόφου είναι οι ακόλουθοι:

- Μία αίθουσα συνεδριάσεων διαστάσεων 4m x 6m. Η αίθουσα λειτουργεί μία φορά την εβδομάδα και κατά τις ώρες 12:00μ.μ. - 15:00μ.μ. κατά τις οποίες συνεδριάζουν τέσσερα άτομα, με δύο έγχρωμους υπολογιστές ισχύος 230 Watt ο καθένας.
- Μια κουζίνα διαστάσεων 2m x 4m στην οποία λειτουργεί συσκευή θέρμανσης καφέ ονομαστικής ισχύος 1500W, η οποία παράγει αισθητό φορτίο 1050W

[7]. Η συσκευή λειτουργεί καθημερινά κατά τις ώρες 8:00π.μ. – 9:30π.λ. Υποθέτουμε ότι στην κουζίνα εισέρχονται όλα τα άτομα και μόνο κατά τις ώρες αυτές και παραμένουν όρθιοι στο χώρο για 15min καθημερινά. Έτσι προκύπτει ότι στο χώρο βρίσκονται 2.33 άτομα κάθε στιγμή κατά τις ώρες αυτές.

- Μία τουαλέτα διαστάσεων 2m x 4m στην οποία βρίσκονται άτομα ανά πάσα χρονική στιγμή. Για λόγους που εξυπηρετούν την προσομοίωση θεωρείται ότι στο χώρο βρίσκονται 0,2 άτομα κατά τις ώρες λειτουργίας του γραφείου.
- Τρία γραφεία διαστάσεων 4m x 6m το καθένα στα οποία εργάζονται 12 άτομα συνολικά (4 στο καθένα) και κάθε άτομο έχει το δικό του υπολογιστή ισχύος 230 Watt με έγχρωμη οθόνη. Επίσης σε κάθε γραφείο λειτουργεί ένας εκτυπωτής ο οποίος εκτυπώνει 1 σελίδα/ min. Το φορτίο δια συναγωγής του εκτυπωτή ανέρχεται στα 489,6kJ/h και το φορτίο δια ακτινοβολίας στα 86,4kJ/h (10%) [7]
- Ένα γραφείο διαστάσεων 4m x 4m στο οποίο βρίσκεται ο διευθυντής και άλλο ένα άτομο με δύο υπολογιστές ισχύος 230 Watt με έγχρωμη οθόνη.
- Ένας διάδρομος διαστάσεων 16m x 2m. Στον διάδρομο μπορεί να βρίσκονται άτομα ανά πάσα στιγμή, όμως για λόγους που εξυπηρετούν την προσομοίωση θεωρείται ότι βρίσκονται 0,2 άτομα κατά τις ώρες λειτουργίας του γραφείου περπατώντας αργά. Επίσης στη ζώνη βρίσκεται ψύκτης νερού με φορτίο δια συναγωγής ίσο με 350W
- Οι υαλοπίνακες του ορόφου καλύπτουν το 30% της νότιας όψης και το 10% της ανατολικής και δυτικής. Έτσι, οι υαλοπίνακες έχουν διαστάσεις: στα γραφεία 2,3: 1,2m x 5,25m, στο γραφείο του διευθυντή: 1,2m x 3.5m, στο γραφείο 1 και στην αίθουσα συνεδριάσεων: 1,2m x 2m και στον διάδρομο δύο υαλοπίνακες με διαστάσεις: 1,2m x 1m.
- Τέλος, για να ληφθεί υπόψη η θερμοχωρητικότητα του αέρα του χώρου και της επίπλωσης, χωρίς όμως να συνυπολογίζεται η θερμοχωρητικότητα των τοίχων και των οροφών, θεωρήθηκε ότι κάθε ζώνη έχει ειδική θερμοχωρητικότητα ίση με 8,5kJ/m³K. [4]

Η λειτουργία του φωτισμού, του αερισμού, της ψύξης και της θέρμανσης είναι παρόμοια για όλες τις ζώνες και ισχύουν τα ακόλουθα:

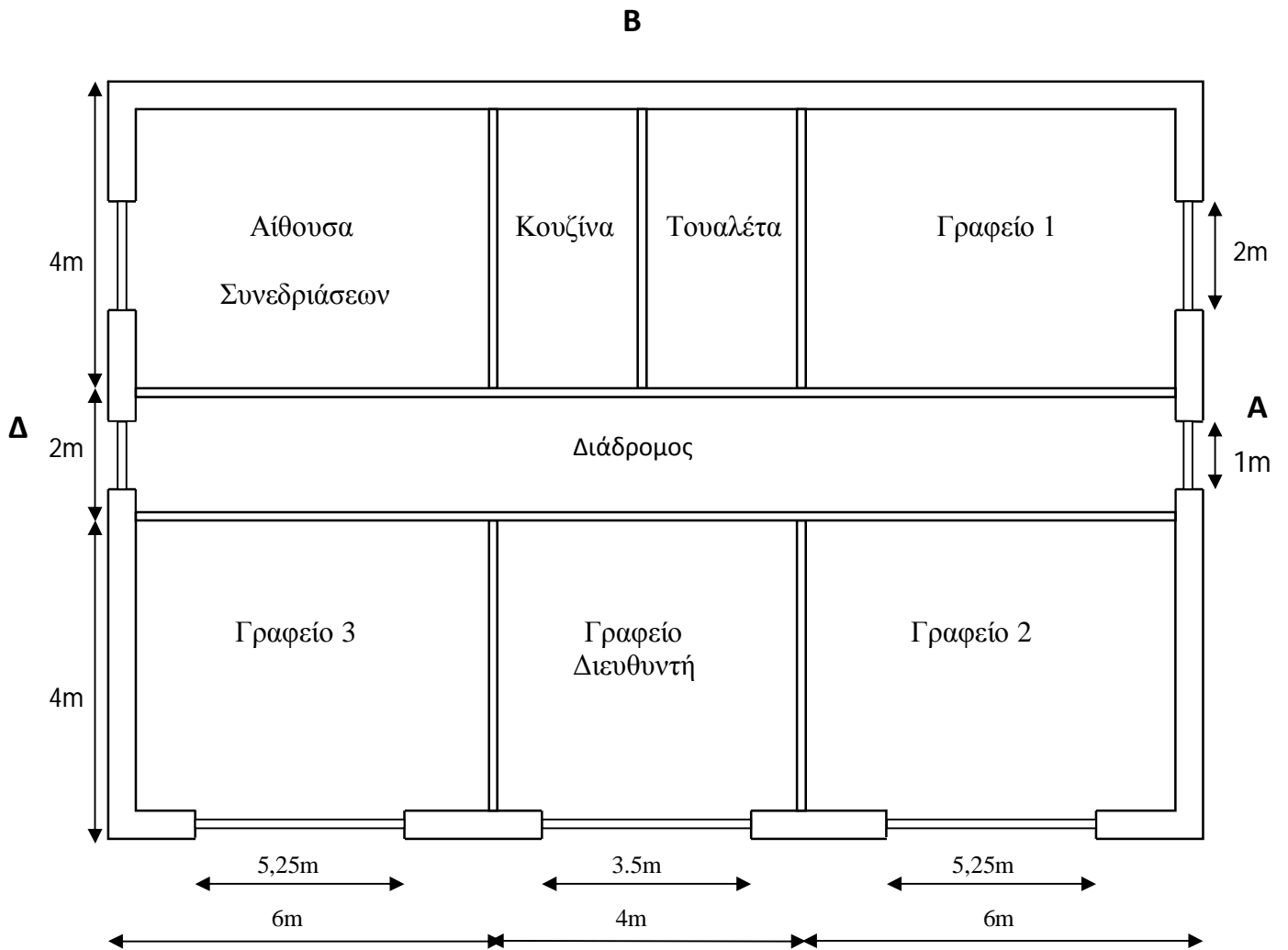
- Σε όλους τους χώρους υπάρχει φωτισμός ισχύος 10 Watt/m² εκ των οποίων το 33% μεταδίδεται στο χώρο μέσω συναγωγής. Ο φωτισμός λειτουργεί συνεχώς κατά τις ώρες λειτουργίας του γραφείου, ενώ το βράδυ το κτήριο δεν φωτίζεται.
- Η θέρμανση, σε όλους τους χώρους λειτουργεί όταν η θερμοκρασία της ζώνης είναι κάτω των 20 °C, κατά τις ώρες λειτουργίας του γραφείου. Η αποδιδόμενη ισχύς έχει τεθεί απεριόριστη έτσι ώστε να καλύπτονται πάντα οι απαιτήσεις κάθε ζώνης.
- Η ψύξη, σε όλους τους χώρους, λειτουργεί όταν η θερμοκρασία της ζώνης φτάσει τους 26 °C, κατά τις ώρες λειτουργίας του γραφείου. Η αποδιδόμενη ισχύς έχει τεθεί απεριόριστη έτσι ώστε να καλύπτονται πάντα οι απαιτήσεις κάθε ζώνης.
- Ο αερισμός στις ζώνες γίνεται με βάση τον αριθμό ατόμων που υπάρχουν στη ζώνη. Έτσι, όπως συνίσταται για γραφεία γενικής χρήσης, παρέχονται 7l/s άτομο [1]. Εξαίρεση αποτελεί η τουαλέτα όπου ο αερισμός ανέρχεται στα 10

L/s, ανά m^2 δαπέδου για την απομάκρυνση οσμών από τους χώρο [1]. Έτσι προκύπτουν 10 εναλλαγές/ ώρα. Στην κουζίνα κατά τις ώρες που παρευρίσκονται άτομα, ο αερισμός ανέρχεται στις 2,1 εναλλαγές αέρα/h, ενώ τις υπόλοιπες ώρες διατηρείται στο χαμηλό επίπεδο των 0,5 εναλλαγές/h. Επίσης η αίθουσα συνεδριάσεων αερίζεται μόνο όταν χρησιμοποιείται. Στα γραφεία των υπαλλήλων και στο γραφείο του διευθυντή ο αερισμός ανέρχεται στις 1,2 και 1,5 εναλλαγές αέρα/h αντίστοιχα, καθότι το γραφείο του διευθυντή θεωρείται προσωπικό γραφείο και το συνιστώμενο επίπεδο αερισμού ανέρχεται στα 12L/s άτομο.

- Στους εξωτερικούς τοίχους του κτηρίου χρησιμοποιείται τοίχος διπλός δρομικός χωρίς μόνωση (τοίχος G2), κατασκευασμένος με βάση τα Ελληνικά πρότυπα, ενώ και οι δύο επιφάνειες του τοίχου είναι ανοιχτόχρωμες. Για την εξωτερική επιφάνεια τοίχου ο συντελεστής συναγωγιμότητας h_o λαμβάνεται ίσος με $17W/m^2K$ ($61,2kJ/m^2K$) ενώ για την εσωτερική επιφάνεια λαμβάνεται $8,3W/m^2K$ ($29,88kJ/m^2K$). Ο συντελεστής απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας λαμβάνεται ίσος με 0,44 για την εξωτερική επιφάνεια και για την εσωτερική. Η περιγραφή του τοίχου και των υλικών που τον αποτελούν δίνεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 6.4
- Στις εξωτερικές οροφές του ορόφου χρησιμοποιείται οροφή από σκυρόδεμα 14cm χωρίς μόνωση (οροφή 2), κατασκευασμένη σύμφωνα με τα Ελληνικά πρότυπα. Οι συντελεστές συναγωγιμότητας και απορρόφησης ακτινοβολίας λήφθηκαν όπως για τον τοίχο G2. Η περιγραφή της οροφής και των υλικών που την αποτελούν δίνεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 6.3
- Για τους εσωτερικούς τοίχους χρησιμοποιήθηκε μονός δρομικός ενώ ως δάπεδο του ορόφου επιλέχθηκε η προεπιλογή του Trnsys από την βιβλιοθήκη του προγράμματος με ονομασία “Intfloor”.
- Τα παράθυρα του κτηρίου αποτελούνται από ιονό υαλοπίνακα κατασκευασμένο με βάση τις προδιαγραφές της ASHRAE, με κωδικό ASH A-17.2a. Η περιγραφή του υαλοπίνακα δίνεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 6.5.

Κατά τις προσομοιώσεις γίνεται η παραδοχή ότι δεν συναλλάσσεται αέρας μεταξύ των ζωνών ή των ορόφων του κτηρίου και ότι η θερμοκρασία των ορόφων ταυτίζεται όλες τις ώρες καθότι όλοι κλιματίζονται. Επίσης, κλιμακοστάσια ή/και ανελκυστήρες αγνοήθηκαν παντελώς και έτσι ο διάδρομος (όπου θα βρίσκονταν λογικά) θεωρείται μία ενιαία ζώνη με δύο εξωτερικούς και δύο εσωτερικούς τοίχους (εικόνα 1). Τέλος αγνοήθηκαν πλήρως κολώνες και δοκοί στήριξης.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η κάτοψη του ορόφου που μελετάται:



N
Εικόνα 1: Κάτοψη ορόφου κτηρίου

Για την περιγραφή του ορόφου στο πρόγραμμα TRNBuild χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες μεταβλητές:

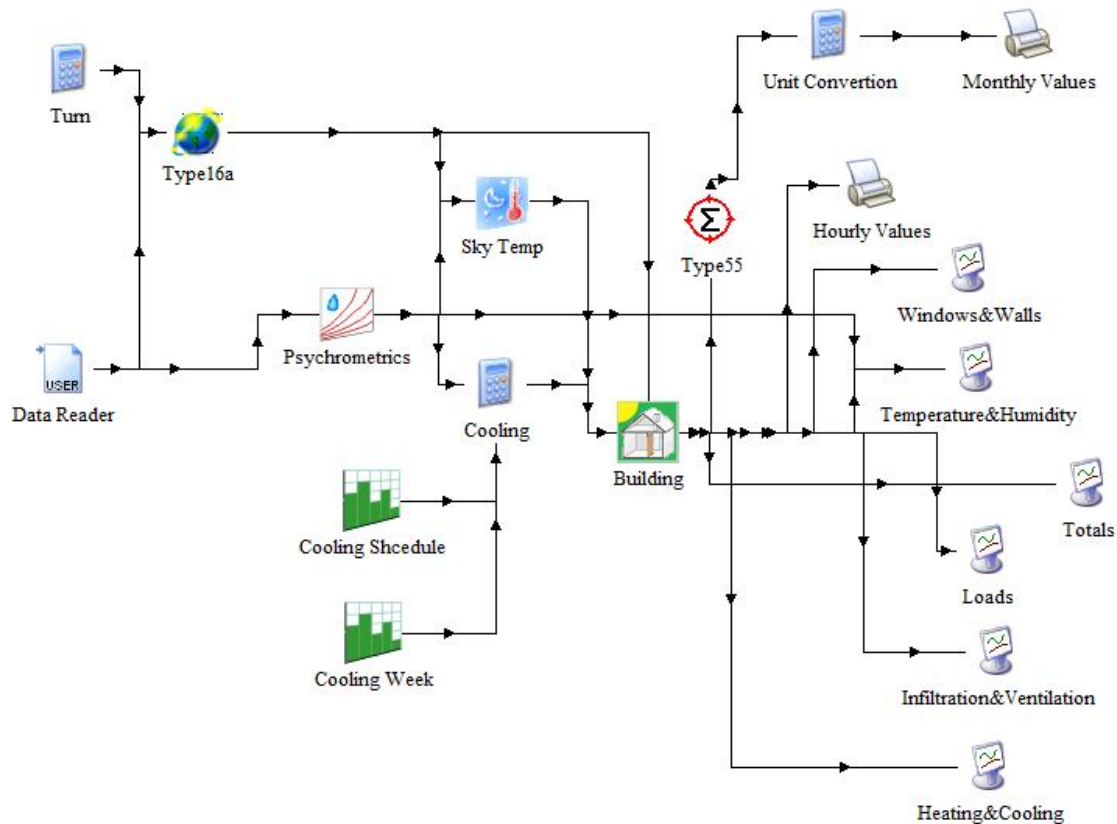
Όνομα μεταβλητής	Είδος	Περιγραφή	Τιμή
Kitchen_Devices	Θερμικό κέρδος	Μαγειρική συσκευή	Φορτίο δια συναγωγής =3780kJ/h
			Απόλυτη υγρασία =0,15kg/h
PRINTER	Θερμικό κέρδος	Συσκευή εκτύπωσης	Φορτίο δια συναγωγής =489,6kJ/h
			Φορτίο δια ακτινοβολίας =86,4kJ/h
WATER_COOLER	Θερμικό κέρδος	Συσκευή ψύξης νερού	Φορτίο δια συναγωγής =1260kJ/h
VENTMECH	Αερισμός	Αερισμός των χώρων: Γραφείο 1, 2, 3	=1,5*USE
VENTWC	Αερισμός	Αερισμός χώρου: W.C.	=3*USE
VENTCONF	Αερισμός	Αερισμός διαδρόμου	=0.7*USE
VENTDIRECT	Αερισμός	Αερισμός γραφείου διευθυντή	=1.5*USE
HEAT1 - 8	Στρατηγική Θέρμανσης	Θέρμανση της κάθε ζώνης	Ισχύς: Απεριόριστη
			Θερμοκρασία εκκίνησης = 20°C
COOL1 - 8	Στρατηγική Ψύξης	Ψύξη της κάθε ζώνης	Ισχύς: Απεριόριστη
			Θερμοκρασία εκκίν. = 26*T_COOL_ON
CONF	Ημερήσιο χρονοδιάγραμμα	Χρήση της αίθουσας συνεδριάσεων	12:00-15:00 = 1 Υπόλοιπες =0
CONFERENCE	Εβδομαδιαίο χρονοδιάγραμμα	Χρήση της αίθουσας συνεδριάσεων	Δευτέρα = 1 Υπόλοιπες = 0
KITCHEN	Ημερήσιο χρονοδιάγραμμα	Χρήση κουζίνας	8:00 – 9:30 = 1 Υπόλοιπες =0
KITCHEN_USE	Εβδομαδιαίο χρονοδιάγραμμα	Χρήση κουζίνας	Δευτέρα - Παρασκευή = 1, Σ.Κ = 0
LIGHT	Εβδομαδιαίο χρονοδιάγραμμα	Λειτουργία φωτισμού	8:00 - 18:00 = 1 Υπόλοιπες = 0
USE	Εβδομαδιαίο χρονοδιάγραμμα	Ημέρες λειτουργίας γραφείου	Δευτέρα – Παρασκευή =1
WORKDAY	Ημερήσιο χρονοδιάγραμμα	Ώρες λειτουργίας γραφείου	8:00 - 18:00 = 1 Υπόλοιπες = 0
WEEKEND	Εβδομαδιαίο χρονοδιάγραμμα	Ημέρες που δεν λειτουργεί το γραφείο	0:00 – 24:00 = 0
WORKLIGHT	Ημερήσιο χρονοδιάγραμμα	Ώρες λειτουργίας φωτισμού	8:00 - 18:00 = 1 Υπόλοιπες = 0
T_COOL_ON	Είσοδος	Ρύθμιση θερμοκρασίας εκκίνησης συστήματος ψύξης	Ώρες λειτουργίας = 1 Υπόλοιπες = 5

5.3 Περιγραφή υπολογιστικών προγραμμάτων

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας δημιουργήθηκαν έξι προγράμματα, τα οποία προέκυψαν έπειτα από ελαφρά τροποποίηση του πρώτου προγράμματος που δημιουργήθηκε για την μοντελοποίηση του ορόφου στο συμβατικά κατασκευασμένο κτήριο. Δηλαδή του κτηρίου όπου δεν έχει ληφθεί κανένα μέτρο εξοικονόμησης ενέργειας. Το ίδιο πρόγραμμα χρησιμοποιείται για την μελέτη της επίδρασης των εξωτερικών τοίχων, των εξωτερικών οροφών και των υαλοπινάκων. Τα προγράμματα που δημιουργήθηκαν περιγράφονται ακολούθως.

5.3.1 Προγράμματα υπολογισμού συμβατικού κτηρίου, μελέτης εξωτερικών τοίχων, οροφών, και υαλοπινάκων του κτηρίου

Τα προγράμματα για το βασικό κτήριο, για τη μελέτη των εξωτερικών τοίχων, των εξωτερικών οροφών και των υαλοπινάκων δίνονται στο CD της εργασίας στα αρχεία basic.trpf, walls.trpf, roofs.trpf και windows.trpf αντίστοιχα. Τα προγράμματα αυτά είναι ανεξάρτητα και διαφέρουν μόνο ως προς τις εξόδους που επιλέγονται να τυπωθούν. Πλην αυτού, τα προγράμματα είναι πανομοιότυπα και γι' αυτό το λόγο παρουσιάζονται μαζί. Το πρόγραμμα φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



Εικόνα 2: Βασικό πρόγραμμα προσομοίωσης, όπως φαίνεται στο TRNSYS Simulation Studio

Στο πρόγραμμα αυτό, τα μετεωρολογικά δεδομένα βρίσκονται στο αρχείο METEO_NTUA.DAT και διαβάζονται από το μοντέλο 9 (Data Reader στο παραπάνω σχήμα). Η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία αποτελούν τις εισόδους για το μοντέλο 33, “Psychrometrics”, ενώ η ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου εισάγεται στο μοντέλο 16 «Επεξεργαστής ακτινοβολίας». Από το μοντέλο 33 υπολογίζονται οι

θερμοκρασίες ξηρού βολβού και σημείου δρόσου με την παραδοχή ότι η πίεση παραμένει σταθερή και ίση με 1atm. Οι τιμές αυτές εισάγονται στο μοντέλο “sky temp” (μοντέλο 69) για τον υπολογισμό της αντιπροσωπευτικής θερμοκρασίας ουρανού. Στο μοντέλο 69 ορίζεται και το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται το κτήριο και στην περίπτωση μας θεωρείται ίσο με 0m.

Στο μοντέλο 16, εκτός της ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου, εισέρχονται επίσης οι γωνίες αζιμούθιου των τεσσάρων εξωτερικών τοίχων του κτηρίου, στους οποίους επιθυμούμε να υπολογιστεί η ακτινοβολία. Οι γωνίες αυτές υπολογίζονται στην εξίσωση “TURN” που φαίνεται στο παραπάνω σχήμα και παριστάνονται με τις μεταβλητές AA_N, AA_S, AA_E, AA_W για τον βόρειο, νότιο, ανατολικό και δυτικό τοίχο αντίστοιχα. Έτσι οι τιμές τους είναι αντίστοιχα 180, 0, -90, 90. Για την αλλαγή του προσανατολισμού του κτηρίου που θα παρουσιαστεί στο ακόλουθο κεφάλαιο ορίζεται η μεταβλητή TURN η οποία παριστάνει την γωνία κατά την οποία στρέφεται το κτήριο. Έτσι, στην νέα θέση του κτηρίου οι τοίχοι έχουν γωνίες αζιμούθιου AA_N+TURN, AA_S+TURN, AA_E+TURN, AA_W+TURN. Οι τιμές των γωνιών αποτελούν είσοδο στο μοντέλο 16. Η τιμή της μεταβλητής TURN παραμένει ίση με 0 σε όλες τις προσομοιώσεις που εκτελούνται για την μελέτη του συμβατικού κτηρίου, των εξωτερικών τοίχων οροφών και υαλοπινάκων. Ακόμα, στην καρτέλα παραμέτρων του μοντέλου 16 εισάγεται το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής (38°) και η ηλιακή σταθερά (4870,8kJ/h·m²)

Τέλος, η θερμοκρασία για την οποία εκκινεί το σύστημα ψύξης του κτηρίου ορίζεται στην εξίσωση “Cooling”. Η εξίσωση η οποία γράφεται είναι η ακόλουθη:

$$T_COOL_ON = 26 * COOL_SCHED * WEEK,$$

όπου COOL_SCHED και WEEK οι είσοδοι στην εξίσωση “Cooling”. Η εξίσωση έχει ως εισόδους τις τιμές εξόδου των μοντέλων περιγραφής χρονικά μεταβαλλόμενης λειτουργίας (Μοντέλο 14) με ονομασίες “Cooling Schedule” και “Cooling Week”. Η χρονική περίοδος επανάληψης του μοτίβου στα μοντέλα αυτά είναι 24 ώρες και 168 ώρες (1 βδομάδα) αντίστοιχα. Κατά τις ώρες και ημέρες που δεν λειτουργεί το γραφείο η τιμή εξόδου των μοντέλων 14 ορίζεται ίση με 5, ενώ κατά τις ώρες λειτουργίας του γραφείου ίση με 1. Με τον τρόπο επιτυγχάνουμε να λειτουργεί το σύστημα ψύξης στο γραφείο μόνο για τις εργάσιμες ημέρες και ώρες και να τεθεί η θερμοκρασία εκκίνησης στην τιμή 26°C. Τις υπόλοιπες ώρες η θερμοκρασία εκκίνησης λαμβάνει την τιμή 5*26=132°C ή 25*26=650°C, με αποτέλεσμα να μην ενεργοποιείται το σύστημα ψύξης. Ο λόγος για τον οποίο δεν ορίστηκαν μέσω του TRNBuild η θερμοκρασία εκκίνησης και οι ώρες λειτουργίας της ψύξης του κτηρίου είναι ότι όταν ορίζεται το ίδιο χρονοδιάγραμμα για την ψύξη και την θέρμανση μέσω του TRNBuild το αποτέλεσμα είναι να λειτουργούν ταυτόχρονα και για όλη τη διάρκεια του έτους, δίνοντας προφανώς λανθασμένες ενδείξεις. Η λειτουργία της θέρμανσης του κτηρίου αντίθετα, ορίζεται μέσω των εσωτερικών χρονοδιαγραμμάτων του προγράμματος TRNBuild.

Στο μοντέλο του κτηρίου τελικά εισάγονται:

- i. Η άμεση και η διάχυτη ακτινοβολία στο οριζόντιο και στο κάθετο επίπεδο για καθένα από τους τέσσερις προσανατολισμούς (B,S,E,W) μαζί με τις αντίστοιχες γωνίες αζιμούθιου από το μοντέλο 16
- ii. Η θερμοκρασία ουρανού από το μοντέλο 69
- iii. Η θερμοκρασία εκκίνησης λειτουργίας του συστήματος ψύξης
- iv. Η τιμή ελέγχου για τη λειτουργία του φωτισμού

Ως έξοδοι από το κτήριο ορίζονται οι εξής μεταβλητές:

- 1) Για κάθε θερμική ζώνη:
 - i. Η θερμοκρασία
 - ii. Η σχετική υγρασία
 - iii. Η συνολική μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής από τις εσωτερικές επιφάνειες του κτηρίου
 - iv. Η εισερχόμενη ακτινοβολία από τους υαλοπίνακες
 - v. Το συνολικό αισθητό φορτίο
 - vi. Το συνολικό λανθάνον φορτίο
 - vii. Το φορτίο από αερισμό
 - viii. Το φορτίο από διείσδυση αέρα
 - ix. Το σύνολο των εσωτερικών φορτίων δια συναγωγής και δια ακτινοβολίας
 - x. Η απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση
 - xi. Η απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη
- 2) Για το σύνολο των θερμικών ζωνών:
 - i. Η συνολική απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη
 - ii. Η συνολική απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση
 - iii. Η συνολική ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στον όροφο
 - iv. Η συνολική μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής από το σύνολο των εσωτερικών επιφανειών του ορόφου.

Από τις μεταβλητές αυτές, οι τιμές που αφορούν το σύνολο των ζωνών εισάγονται στο μοντέλο του περιοδικού ολοκληρωτή (Μοντέλο 55) και υπολογίζονται οι συνολικές τιμές για κάθε μήνα. Για να λαμβάνουμε μηνιαίες τιμές από το μοντέλο 55 ορίζονται οι παράμετροι “Relative Starting hour of input-i” ίση με 1 και “Duration of input-i” και “Reset of input-i” ίσες με -1, όπου i η i-οστή είσοδος στο μοντέλο 55. Για τα μεγέθη του φορτίου ηλιακής ακτινοβολίας δια μέσω των υαλοπινάκων και μεταφορά θερμότητα δια συναγωγής από το σύνολο των εσωτερικών επιφανειών του ορόφου, οι παραπάνω παράμετροι ορίζονται ίσοι με 8, 10 και -1 αντίστοιχα, έτσι ώστε να λαμβάνονται μόνο οι τιμές που αφορούν τις ώρες λειτουργίας του γραφείου. Όλες οι τιμές που προκύπτουν εισάγονται στους δύο εκτυπωτές (Μοντέλο 25) αφού πρώτα μετατραπούν από kJ/h σε MJ/h στην εξίσωση “Unit Conversion”. Στην ίδια εξίσωση αθροίζονται τα εσωτερικά φορτία δια ακτινοβολίας και δια συναγωγής ώστε να προκύψουν τα συνολικά εσωτερικά φορτία. Τελικά εξάγονται σε δύο αρχεία: α) Monthly.out και β) Hourly.out, τα οποία περιέχουν αντίστοιχα τις μηνιαίες και ωριαίες τιμές. Επιπλέον παράγονται τα προκαθορισμένα αρχεία του μοντέλου 56, τα οποία είναι:

- i. Bldg-HourlyLoads.out: Περιέχει ωριαίες τιμές της απαιτούμενης θέρμανσης και της απαιτούμενης ψύξης για κάθε ζώνη ξεχωριστά και για το σύνολο των ζωνών καθώς και της εξωτερικής θερμοκρασίας.
- ii. Bldg-HourlyTemp.out: Περιέχει ωριαίες τιμές της θερμοκρασίας κάθε ζώνης και του ορόφου, της θερμοκρασίας λειτουργίας (T_{OPERATIVE}) κάθε ζώνης και του ορόφου και της εξωτερικής θερμοκρασίας
- iii. Bldg-Monthly.out: Περιέχει μηνιαίες τιμές της απαιτούμενης θέρμανσης, της απαιτούμενης ψύξης, του φορτίου λόγω διείσδυσης αέρα, του φορτίου αερισμού, του φορτίου λόγω ηλιακής ακτινοβολίας και των εσωτερικών φορτίων.

- iv. Summary.BAL: Περιέχει τις ετήσιες τιμές διαφόρων μεταβλητών που αφορούν την κάθε επιφάνεια του ορόφου. Οι τοίχοι λαμβάνουν τιμές από 1 έως 60 στο δεδομένο κτήριο και η αντιστοιχία φαίνεται κάνοντας κλικ στην κάθε επιφάνεια του ορόφου στο πρόγραμμα TRNBuild.

Για λόγους εποπτείας προστίθενται 6 συνολικά on-line plotters (Μοντέλο 65) οι οποίοι δημιουργούν διαγράμματα των εξαγόμενων μεταβλητών από τις ωριαίες τιμές τους. Στον on-line plotter με όνομα Temperatures&Humidity εισάγεται και η θερμοκρασία περιβάλλοντος με σκοπό την άμεση σύγκριση των θερμοκρασιών στις ζώνες του ορόφου με την εξωτερική. Τα μοντέλα έχουν ονοματιστεί αναλόγως με τα δεδομένα που εισέρχονται σε αυτά. Έτσι ο online plotter με ονομασία Temperatures&Humidity απεικονίζει στον αριστερό άξονα τις θερμοκρασίες της κάθε ζώνης και την εξωτερική και στον δεξιό τη σχετική υγρασία. Αντίστοιχα στον ονοματισμένο “Loads” απεικονίζεται στον αριστερό άξονα το αισθητό φορτίο και στον δεξιό το λανθάνον. Στον “Windows&Walls” απεικονίζεται το φορτίο δια συναγωγής από τις επιφάνειες κάθε ζώνης και το φορτίο λόγω ηλιακής ακτινοβολίας δια μέσω των υαλοπινάκων κάθε ζώνης. Στον “Infiltration&Ventilation” τα φορτία διείσδυσης αέρα και εναλλαγής αέρα και στον “Heating&Cooling” η απαιτούμενη θέρμανση και ψύξη κάθε ζώνης. Τέλος, στον online plotter “Totals” απεικονίζεται η απαιτούμενη θέρμανση και η απαιτούμενη ψύξη για το σύνολο του ορόφου, το φορτίο δια συναγωγής από τις εσωτερικές επιφάνειες του ορόφου, το φορτίο λόγω ηλιακής ακτινοβολίας από το σύνολο των υαλοπινάκων του ορόφου και τα φορτία λόγω εναλλαγής και διείσδυσης αέρα για το σύνολο του ορόφου

Το πρόγραμμα basic.trf εκτελείται χρησιμοποιώντας το αρχείο περιγραφής κτηρίου basic.bui και έχει ως εξόδους όλες τις προαναφερόμενες μεταβλητές. Το πρόγραμμα walls.trf εκτελείται χρησιμοποιώντας το αρχείο G1.bui για την προσομοίωση του κτηρίου με εξωτερικούς τοίχους τον G1, ενώ η εκτέλεση του προγράμματος roofs.trf επαναλαμβάνεται για τα αρχεία roofs1.bui, roofs3.bui για τα κτήρια με οροφές τις: οροφή-1 και οροφή-3 αντίστοιχα. Τα προγράμματα αυτά έχουν ως εξόδους τα μεγέθη που αφορούν την θέρμανση και την ψύξη του κτηρίου και τη συναγωγή από τις επιφάνειες του κτηρίου. Το πρόγραμμα windows.trf εκτελείται για τα αρχεία windows1.bui, windows2.bui, windows3.bui για τα κτήρια με υαλοπίνακες, διπλό, διπλό χαμηλής εκπομπής και τριπλό αντίστοιχα. Τα αρχεία εξόδου κατά τις εκτελέσεις του προγράμματος φέρουν τους αριθμούς 1,2,3 κατά αντιστοιχία με το αρχείο .bui που χρησιμοποιείται κάθε φορά. Τα αρχεία στο CD της εργασίας δίνονται σε διαφορετικούς φακέλους προς αποφυγή ανάμιξής τους. Στο πρόγραμμα ορίζονται ως έξοδοι οι απαιτούμενη θέρμανση και ψύξη του κτηρίου και η εισερχόμενη ακτινοβολία δια μέσω των υαλοπινάκων.

Σημείωση 1: Κατά τη διάρκεια μίας προσομοίωσης επιτρέπεται η χρήση έως 5 συνολικά μοντέλων-65. Δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται στο πρόγραμμα για λόγους εποπτείας επιλέγεται κάθε φορά ένα μοντέλο από τα 6 να μην λειτουργεί χωρίς να υπάρχει επίπτωση στους υπολογισμούς.

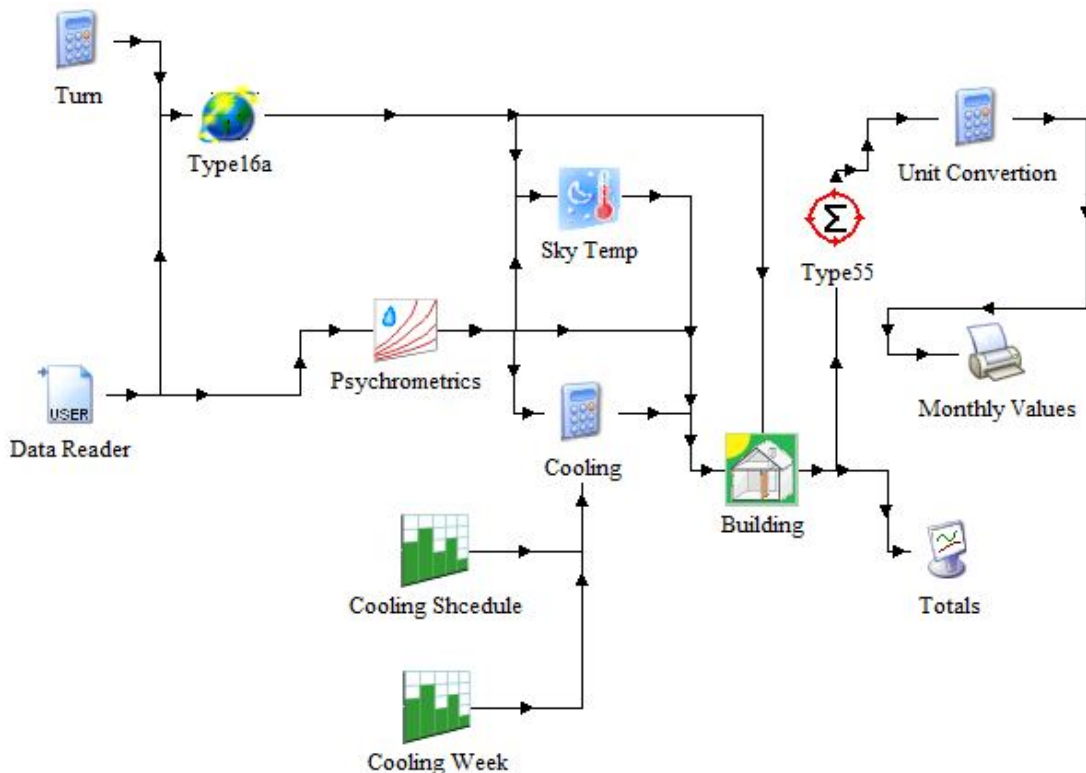
Σημείωση 2: Ο υπολογισμός της διάχυτης ακτινοβολίας γίνεται με βάση το μοντέλο του Reindl, ορίζοντας την 3^η παράμετρο του μοντέλου 16 “Tilted surface mode” ίση με 3.

5.3.2 Πρόγραμμα για την μελέτη του προσανατολισμού του κτηρίου

Το πρόγραμμα για την μελέτη του προσανατολισμού του κτηρίου δίνεται στο αρχείο orientation.trf. Το πρόγραμμα αυτό διαφέρει με το παραπάνω στο ότι έχει αφαιρεθεί το μοντέλο του εκτυπωτή που δίνει τις ωριαίες τιμές των μεγεθών ενώ τα αρχεία εξόδου του εκτυπωτή με τις μηνιαίες τιμές και του προκαθορισμένου αρχείου εξόδου του μοντέλου 56 με τις μηνιαίες τιμές, ορίζονται ως `***.out` και `***.sum`, για λόγους που περιγράφονται παρακάτω. Επίσης έχουν αφαιρεθεί τα αντίστοιχα μοντέλα απεικόνισης των ωριαίων τιμών (on line plotters). Το κτήριο που χρησιμοποιείται είναι το βασικό και το αρχείο περιγραφής του είναι το orientation.bui. Αυτό διαφέρει από το αντίστοιχο του βασικού κτηρίου καθότι δεν επιλέχθηκαν οι έξοδοι εκείνες που τυπώνονταν στον εκτυπωτή με τις ωριαίες τιμές των μεγεθών.

Για να μελετηθεί η επίδραση των ανατολικών και δυτικών υαλοπινάκων, μελετάται το ίδιο κτήριο στην περίπτωση που δεν υπάρχουν οι ανατολικοί και οι δυτικοί υαλοπίνακες, παρά μόνο οι νότιοι οι οποίοι καλύπτουν και πάλι το 30% της επιφάνειας του τοίχου. Το αρχείο περιγραφής που χρησιμοποιείται σε αυτήν την περίπτωση είναι το onllysouth.bui στο οποίο έχουν αφαιρεθεί οι υαλοπίνακες στην ανατολική και τη δυτική όψη του κτηρίου.

Το πρόγραμμα φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 3: Πρόγραμμα για την μελέτη του προσανατολισμού του κτηρίου

Η μελέτη του προσανατολισμού έγινε μέσω παραμετρικών εκτελέσεων με το πρόγραμμα TRNEdit. Για το λόγο αυτό παρήχθησαν τα αρχεία orientation.trd, και onllysouth.trd μέσω της καρτέλας ελέγχου στο πρόγραμμα Simulation Studio του

TRNSYS. Στον κώδικα των αρχείων .trd αλλάχθηκαν οι ακόλουθες γραμμές, ώστε να θεωρηθεί ως παράμετρος η μεταβλητή TURN:

```
...
*-----
-----
*
* EQUATIONS "Turn"
*
EQUATIONS 5
TURN = 0
AA_N = -180 + TURN
AA_S = TURN
AA_E = 270 + TURN
AA_W = 90 + TURN
*$UNIT_NAME Turn
*$LAYER Main
*$POSITION 70 72
*
*-----
-----
```

...
Ο κώδικας μετά την αλλαγή που υπέστη είναι ο ακόλουθος:

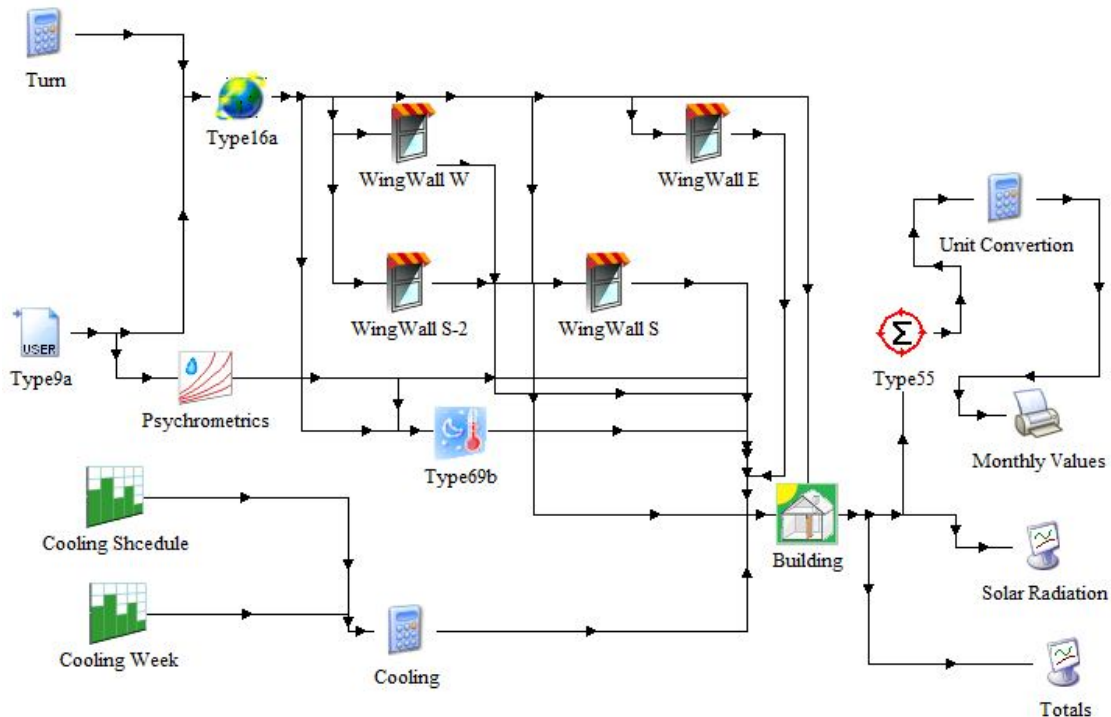
```
...
*-----
-----
*
* EQUATIONS "Turn"
*
CONSTANTS 1
TURN = 0
EQUATIONS 4
AA_N = -180 + TURN
AA_S = TURN
AA_E = 270 + TURN
AA_W = 90 + TURN
*$UNIT_NAME Turn
*$LAYER Main
*$POSITION 70 72
*
*-----
-----
...
```

Για τις παραμετρικές εκτελέσεις δημιουργήθηκαν οι πίνακες που δίνεται στα αρχεία orientation.tbl και onllysouth.tbl, οι οποίοι είναι ίδιοι και αποτελούνται από μία στήλη με τις τιμές που λαμβάνει η μεταβλητή TURN σε κάθε εκτέλεση του προγράμματος. Το κτήριο στρέφεται ανά 30° και η τιμές της μεταβλητής TURN είναι: 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180. Κατά τις εκτελέσεις αυτές παρήχθησαν τα αρχεία orientation1.out – orintation7.out, orientation1.sum – orientation7.sum και onllysouth1.out – onllysoyth7.out, onllysouth1.sum – onllysouth7.sum τα οποία περιέχουν τα αποτελέσματα των υπολογισμών. Τα αρχεία αυτά παράγονται λαμβάνοντας την ονομασία του αντίστοιχου αρχείου .trd αυτόματα καθότι είχε οριστεί η ονομασία τους ως ***.sum και ***.out. Αυτός είναι και ο μόνος τρόπος για να μην γράφονται σε κάθε εκτέλεση τα αποτελέσματα στο ίδιο αρχείο διαγράφοντας τα αποτελέσματα της προηγούμενης εκτέλεσης. Επίσης δημιουργήθηκαν και τα

αρχεία περιγραφής του κτηρίου και τα υπόλοιπα αρχεία του προγράμματος με αριθμούς επίσης 1 – 7 για κάθε εκτέλεση.

5.3.3 Πρόγραμμα μελέτης εξωτερικής σταθερής σκίασης

Για την προσομοίωση της επίδρασης της χρήσης σταθερής εξωτερικής σκίασης στους υαλοπίνακες του κτηρίου δημιουργείται το πρόγραμμα το οποίο φαίνεται παρακάτω. Το πρόγραμμα δίνεται στο CD της εργασίας στο αρχείο fixed_shading.trpf.



Εικόνα 4: Πρόγραμμα προσομοίωσης του κτηρίου με σταθερή σκίαση.

Το πρόγραμμα αυτό διαφέρει με το αρχικό στο γεγονός ότι έχουν εισαχθεί 4 μοντέλα σταθερής σκίασης (Μοντέλο 34). Στα μοντέλα αυτά εισάγονται από το μοντέλο 16 η άμεση ακτινοβολία στο κάθετο επίπεδο και η γωνία πρόσπτωσης για κάθε προσανατολισμό, η ολική και η διάχυτη ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο και οι γωνίες ζενίθ και αζιμούθιου ηλίου. Από τα μοντέλα αυτά υπολογίζεται το ποσοστό της σκιαζόμενης επιφάνειας του υαλοπίνακα και εισάγεται στο μοντέλο του πολυζωνικού κτηρίου. Έτσι σε αυτό ορίζονται άλλες 4 εισοδοί με ονομασίες S_SHD, S_SHD2, E_SHD, W_SHD, οι οποίες λαμβάνουν τιμές από 0 – 1. Η τιμή 1 λαμβάνεται όταν αποκόπτουν πλήρως την ηλιακή ακτινοβολία και η τιμή 0 όταν επιτρέπουν πλήρως τη διέλευσή της. Οι δύο πρώτες αφορούν στους υαλοπίνακες με νότιο προσανατολισμό καθότι οι υαλοπίνακες δεν έχουν τις ίδιες διαστάσεις σε όλες τις ζώνες. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στο κεφάλαιο 5.2, οι υαλοπίνακες έχουν πλάτος: 5,25m στα γραφεία 2 και 3 και 3,5m στο γραφείο του διευθυντή ενώ όλοι έχουν 1,2m ύψος. Έτσι, στις ζώνες “Γραφείο 2” και “Γραφείο 3” η επιλογή «παράγων εξωτερικής σκίασης», ορίζεται ίσος με S_SHD, ενώ στη ζώνη “Γραφείο διευθυντή” ίσος με S_SHD-2. Αντίστοιχα στην αίθουσα συνεδριάσεων και στον δυτικό υαλοπίνακα του διαδρόμου είναι W_SHD και στο γραφείο 1 και στον ανατολικό υαλοπίνακα του διαδρόμου, E_SHD.

Στην καρτέλα παραμέτρων του μοντέλου 34 εισάγονται τα γεωμετρικά μεγέθη των σκιάστρων. Επίσης επιλέγεται σκίαση των νοτίων υαλοπινάκων με οριζόντια σκίαστρα, ενώ των δυτικών και ανατολικών με χρήση κατακόρυφων σκιάστρων καθότι είναι αποδοτικότερη από τη χρήση οριζοντίων. Θεωρούμε ότι το οριζόντιο σκίαστρο έχει ίδιο πλάτος με τον υαλοπίνακα, ενώ το οριζόντιο ορίζεται να προεξέχει καθ' ύψος 0,5m του υαλοπίνακα. Στο πρόγραμμα αυτό και μόνο, στη ζώνη του γραφείου 1 και της αίθουσας συνεδριάσεων, έχουμε 2 υαλοπίνακες αντί για έναν με ίδιο συνολικά εμβαδόν ($2,4\text{m}^2$ συνολικά σε κάθε ζώνη) έτσι ώστε να έχουμε μεγαλύτερο ποσοστό σκίασης με μικρότερο μήκος κάθετης προεξοχής. Η μεταβολή αυτή δεν επηρεάζει κατά τα άλλα το κτήριο καθότι η συνολική επιφάνεια παραμένει αμετάβλητη. Στο πρόγραμμα αυτό έχει αφαιρεθεί ο εκτυπωτής “hourly” και τα μόνα ωριαία αποτελέσματα τα οποία παράγονται είναι αυτά των προκαθορισμένων αρχείων του μοντέλου 56.

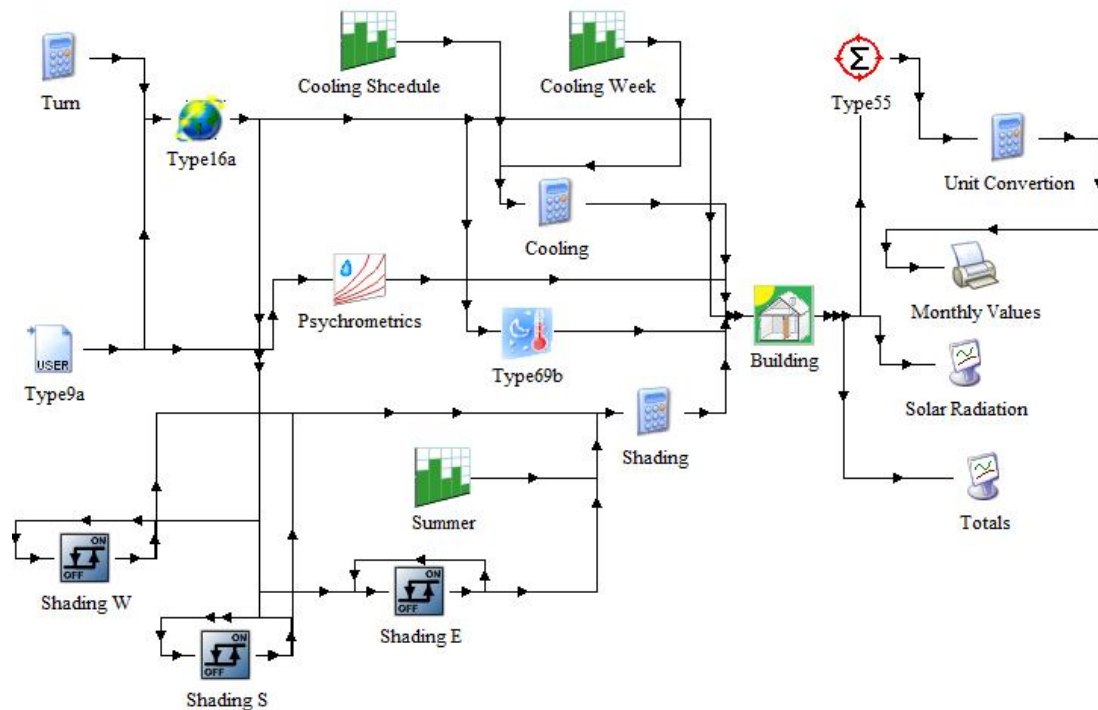
Η μελέτη των σκιάστρων γίνεται και πάλι μέσω του προγράμματος TRNEdit. Για το λόγο αυτό δημιουργείται το αρχείο Fixed_Shading.trd. Στην περίπτωση αυτή δεν μεταβάλλεται ο κώδικας του αρχείου. Δημιουργείται παραμετρικός πίνακας ο οποίος έχει 4 στήλες και εκτελούνται 21 επαναλήψεις κατά τις οποίες η σκίαση σε ανατολικούς και δυτικούς υαλοπίνακες είναι μηδενική. Οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στον πίνακα είναι κατά σειρά η απόσταση της προεξοχής από το άνω μέρος του υαλοπίνακα και το μήκος της προεξοχής για το πρώτο μοντέλο οριζόντιας σταθερής σκίασης και ακολούθως οι ίδιες για το δεύτερο. Κατά τη διάρκεια μίας εκτέλεσης διαβάζεται ο πίνακας κατά γραμμές και χρησιμοποιούνται οι τιμές που περιλαμβάνει για κάθε μεταβλητή. Οι τιμές λαμβάνονται ίδιες για τα δύο μοντέλα σε κάθε εκτέλεση του προγράμματος. Ο πίνακας δίνεται στο αρχείο fixed_shading.tbl στο CD της εργασίας και είναι αναγνώσιμος μέσω του προγράμματος TRNEdit.. Τα αρχεία τα οποία παρήχθησαν είναι και πάλι τα αρχεία περιγραφής του κτηρίου και τα υπόλοιπα προκαθορισμένα αρχεία του TRNSYS με αρίθμηση 1 – 21 καθώς και τα αρχεία fixed_shading1.out – fixed_shading21.out που περιέχουν τα αποτελέσματα για την κάθε εκτέλεση. Στο πρόγραμμα αυτό επιλέχθηκε να αγνοηθούν τα προκαθορισμένα αρχεία εξόδου του μοντέλου 56.

Έπειτα την εύρεση του βέλτιστου σκιάστρου με νότιο προσανατολισμό, το πρόγραμμα εκτελείται ξανά αλλά μέσω του “Simulation Studio” αυτή τη φορά για την βέλτιστη οριζόντια σκίαση και προσθέτοντας κατακόρυφα σκίαστρα αριστερά και δεξιά όλων των υαλοπινάκων με ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό. Τα αποτελέσματα δίνονται στο αρχείο monthly.out, ενώ δίδονται και τα προκαθορισμένα αρχεία εξόδου του μοντέλου 56.

Σημείωση: Το μοντέλο σταθερής σκίασης (μοντέλο 34) για τον υπολογισμό της διάχυτης ακτινοβολίας θεωρεί τον ουρανό ισοτροπικό, σε αντίθεση με το μοντέλο του επεξεργαστή ηλιακής ακτινοβολίας (μοντέλο 16) το οποίο βασίζεται στο μοντέλο του Reindl. Για το λόγο αυτό τα αποτελέσματα δεν μπορούν να συγκριθούν με τις ήδη υπολογισμένες τιμές για το συμβατικό κτήριο. Έτσι υπολογίζονται τα μεγέθη που αφορούν το συμβατικό κτήριο ορίζοντας στις παραμέτρους των μοντέλων 34 σκίαστρα μήκους 0,0001m σε απόσταση 9999m του παραθύρου. Οι υπολογισμοί γίνονται στην 21^η εκτέλεση του παραμετρικού πίνακα TRNEdit και τα αποτελέσματα δίνονται στο αρχείο MONTHLY21.out. Επίσης σημειώνεται ότι το μοντέλο 34 δεν λαμβάνει υπόψη τη διάχυτη ακτινοβολία από το σκίαστρο προς τον υαλοπίνακα.

5.3.4 Πρόγραμμα προσομοίωσης κινητής σκίασης

Για την προσομοίωση της επίδρασης της χρήσης κινητής σκίασης στους υαλοπίνακες του κτηρίου δημιουργείται το ακόλουθο πρόγραμμα. Το πρόγραμμα δίνεται στο CD της εργασίας στο αρχείο Mon_Shading.tpf.



Εικόνα 5: Πρόγραμμα προσομοίωσης κτηρίου με κινητή σκίαση

Με το πρόγραμμα αυτό προσομοιώνεται γενικά σύστημα κινητής σκίασης κατά την ιδανική λειτουργία του, καθότι το πρόγραμμα Trnsys δεν παρέχει εξειδικευμένο μοντέλο για κινητή σκίαση. Κατά την προσομοίωση γίνεται η παραδοχή ότι κατά τους χειμερινούς μήνες το σύστημα σκίασης δεν εμποδίζει την είσοδο της ακτινοβολίας στο χώρο, ενώ το καλοκαίρι τα σκίαστρα αποκόπτουν το 80% της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας εφόσον η ακτινοβολία γίνει ίση με 140Watt/m^2 στο επίπεδο του υαλοπίνακα που σκιάζεται. Η ακτινοβολία εξακολουθεί να αποκόπτεται μέχρι να μειωθεί κάτω από τα 120Watt/m^2 .

Για την προσομοίωση του συστήματος αυτού χρησιμοποιούνται τρεις διαφορετικοί ελεγκτές (Μοντέλο 2). Έτσι, στο αρχικό πρόγραμμα έχουν προστεθεί τρία μοντέλα για την προσομοίωση της κινητής σκίασης στους υαλοπίνακες με προσανατολισμό: Νότος, Ανατολή, Δύση, όπου υπάρχουν και υαλοπίνακες στο κτήριο. Στα μοντέλα της κινητής σκίασης εισάγεται η ολική ακτινοβολία στο κάθετο επίπεδο για τους τρεις αυτούς προσανατολισμούς από το μοντέλο 16 και ορίζεται να επιτρέπουν την ροή της ακτινοβολίας όταν η τιμή της ολικής ακτινοβολίας στους υαλοπίνακες (δηλαδή στο κάθετο επίπεδο) είναι μικρότερη από 504kJ/h m^2 (140W/m^2) ενώ όταν ξεπεραστεί η τιμή αυτή να την αποκόπτουν μέχρι να γίνει μικρότερη από 432kJ/h m^2 (120W/m^2). Επίσης, επειδή κατά τους χειμερινούς η είσοδος της ακτινοβολίας στο κτήριο είναι ελεύθερη, τα μοντέλα τίθενται εκτός λειτουργίας κατά τους μήνες αυτούς μέσω της εξίσωσης “Shading”. Οι σχέσεις οι οποίες γράφονται είναι οι εξής:

$$\begin{aligned} S_SOUTH &= 0,8 * \text{Input1} * \text{summer} \\ S_EAST &= 0,8 * \text{Input2} * \text{summer} \\ S_WEST &= 0,8 * \text{Input3} * \text{summer} \end{aligned}$$

Στις παραπάνω εξισώσεις οι μεταβλητές Input 1 – 3 είναι οι έξοδοι των μοντέλων κινητής σκίασης στον υαλοπίνακα με προσανατολισμό νότο, ανατολή και δύση αντίστοιχα, οι οποίες καθορίζουν αν το σκίαστρο αποκόπτει ή όχι την ηλιακή ακτινοβολία. Η μεταβλητή summer είναι η έξοδος του μοντέλου 14 με ονομασία “Summer” που φαίνεται στην εικόνα 5 και καθορίζει τους μήνες για τους οποίους μπορεί να αποκοπεί η είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας. Έτσι, η μεταβλητή summer ορίζεται ίση με 1 για τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο και ίση με 0 για τους υπόλοιπους μήνες. Δηλαδή είναι ίση με 1 για τις ώρες 3624 – 5808 και ίση με 0 για τις υπόλοιπες. Ο όρος 0,8 είναι το μέγιστο ποσοστό σκιαζόμενης επιφάνειας του υαλοπίνακα.

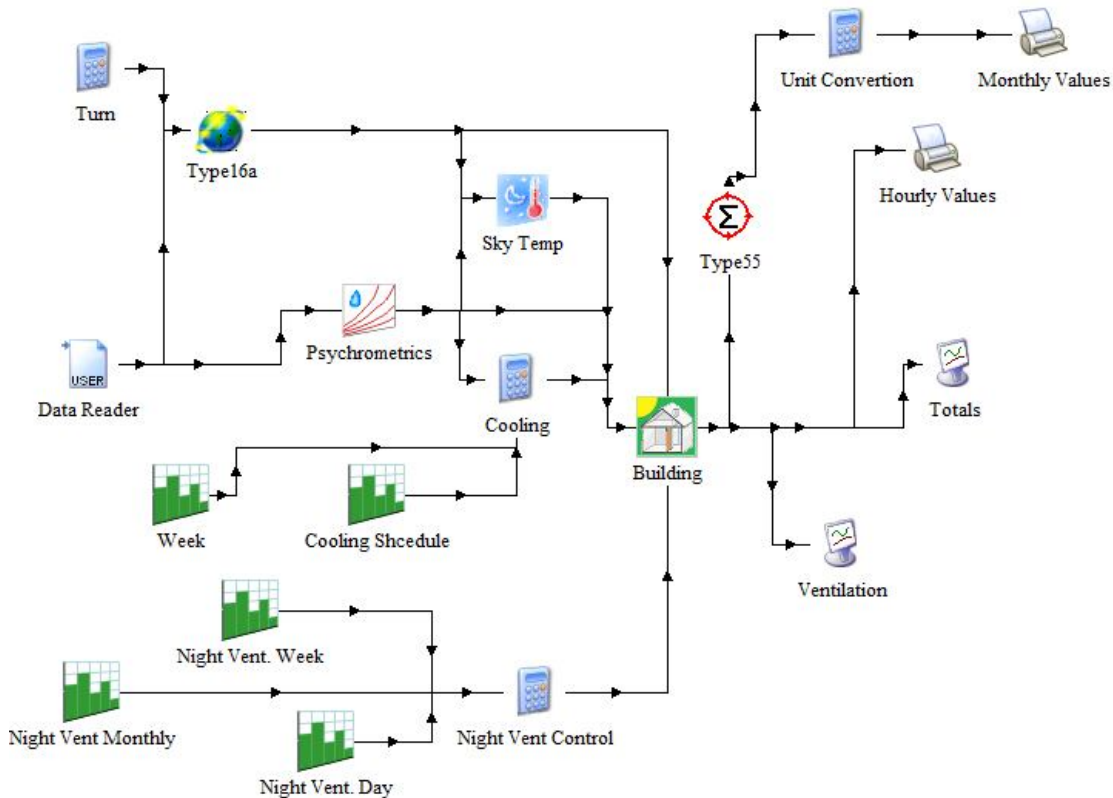
Οι έξοδοι από την εξίσωση εισάγονται στο μοντέλο του κτηρίου. Στο πρόγραμμα TRNBuild ενεργοποιείται η επιλογή «παράγοντας εξωτερικής σκίασης» σε όλα τα παράθυρα των θερμικών ζωνών του ορόφου που έχουν υαλοπίνακες και τίθεται ίσος με τις εισόδους S_SOUTH, S_EAST, S_WEST αντίστοιχα για κάθε προσανατολισμό. Τα μεγέθη της ακτινοβολίας που αφορούν τις επιφάνειες του ορόφου εισάγονται και σ’ αυτήν την περίπτωση από το μοντέλο 16. Έτσι, στο μοντέλο του κτηρίου προστίθενται 3 επιπλέον εισόδοι σε σχέση με το αρχικό πρόγραμμα (S_SOUTH, S_EAST, S_WEST) οι οποίες λαμβάνουν τιμές 0 ή 1. Έτσι ο παράγοντας σκίασης υπολογίζεται για κάθε χρονική στιγμή από το πρόγραμμα TRNBuild από τις εξισώσεις:

Για νότιους υαλοπίνακες:	Ext. Shad factor=0.8*S_SOUTH
Για ανατολικούς υαλοπίνακες:	Ext. Shad factor=0.8*S_EAST
Για δυτικούς υαλοπίνακες:	Ext. Shad factor=0.8*S_WEST

Το αρχείο περιγραφής του κτηρίου είναι το mon_shading.bui και βασίζεται στο συμβατικό κτήριο. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών εξάγονται στο αρχείο MONTHLY.OUT.

5.3.5 Πρόγραμμα προσομοίωσης νυκτερινού αερισμού

Για την προσομοίωση επίδρασης της χρήσης νυκτερινού αερισμού για ψύξη του κτηρίου κατά τους θερινούς μήνες, δημιουργήθηκε το ακόλουθο πρόγραμμα. Το πρόγραμμα δίνεται στο CD της εργασίας στο αρχείο night_vent.tpf.



Εικόνα 6: Πρόγραμμα προσομοίωσης κτηρίου με νυκτερινό αερισμό κατά τους θερινούς μήνες.

Στο πρόγραμμα αυτό έχουν προστεθεί 3 μοντέλα χρονικά μεταβαλλόμενης λειτουργίας (μοντέλο14) σε σχέση με το αρχικό, με τα οποία καθορίζονται οι ώρες του 24ώρου (Night. Vent Day), οι ημέρες της εβδομάδας (Night Vent Week), και οι μήνες (Night Vent. Monthly) για τους οποίους λειτουργεί το σύστημα νυκτερινού αερισμού. Κάθε μοντέλο 14 έχει έξοδο 0 για τις ώρες που δεν λειτουργεί ο νυκτερινός αερισμός και 1 όταν λειτουργεί. Οι εξοδοί τους εισάγονται στην εξίσωση Night Vent Control όπου γράφεται η σχέση:

$$\text{Night_Schedule} = 3 * \text{Night_Day} * \text{Night_Week} * \text{summer}$$

Ο αριθμός 3 αφορά στις εναλλαγές αέρα που επιθυμούμε να έχουμε σε κάθε ζώνη του ορόφου. Η έξοδος της εξίσωσης εισάγεται στο μοντέλο του κτηρίου και ορίζεται ίση με τη μεταβλητή NIGHT_SCHED. Μέσω του προγράμματος TRNBuild προστίθεται σε κάθε ζώνη του ορόφου ένα επιπλέον μοντέλο αερισμού με ονομασία Night_Vent και τιμή ίση με την είσοδο NIGHT_SCHED. Τα υπόλοιπα δεδομένα του κτηρίου παραμένουν ίδια με αυτά στην περίπτωση του συμβατικού κτηρίου.

Το αρχείο περιγραφής του κτηρίου που χρησιμοποιείται είναι το night_vent.bui. Ως έξοδοι ορίζονται οι μηνιαίες τιμές της απαιτούμενης ψύξης και της απαιτούμενης θέρμανσης καθώς και των μηνιαίων τιμών του φορτίου λόγω εναλλαγής αέρα που αφορούν τον αερισμό κατά τη διάρκεια της νύκτας. Επίσης στον εκτυπωτή hourly εκτυπώνονται τα φορτία του νυκτερινού αερισμού για κάθε ζώνη καθώς και τα συνολικά μεγέθη για τον όροφο.

Για την λήψη των μηνιαίων τιμών του φορτίου εναλλαγής αέρα που αφορά τον νυκτερινό αερισμό, ορίζονται η δεύτερη και τρίτη παράμετρος του μοντέλου του περιοδικού ολοκληρωτή ίσες με 21 και 11 αντίστοιχα, έτσι ώστε να αθροίζονται οι τιμές μόνο για τις ώρες 21:00 – 8:00π.μ. κατά τις οποίες και λειτουργεί το σύστημα αερισμού.

Το πρόγραμμα εκτελείται 3 φορές για να ληφθούν τιμές για ρυθμό εναλλαγής αέρα 3 εναλλαγές/ώρα 5 εναλλαγές/ώρα και 20 εναλλαγές/ώρα. Κατά την δεύτερη φορά που εκτελείται το πρόγραμμα προσομοίωσης, η εξίσωση Night Vent. Control γίνεται:

$$\text{Night_Schedule} = 5 * \text{Night_Day} * \text{Night_Week} * \text{summer},$$

και αντίστοιχα την τρίτη.

Τα αποτελέσματα εξάγονται στα αρχεία MONTHLY-3ACH.OUT, HOURLY-3ACH.OUT, Monthly-5ACH.OUT, HOURLY-5ACH.OUT και Monthly-20ACH.OUT, HOURLY-20ACH.OUT

5.4 Μετεωρολογικά δεδομένα

Τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τις προσομοιώσεις, πάρθηκαν από τις διπλωματικές εργασίες «ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1990-2000», Φεβρουάριος 2005, και «ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (ΕΤΩΝ 1991-2000) ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ (ΕΤΩΝ 1993-2000) ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ», 2005 των φοιτητών Ανδρέα Ε. Φραγκιαδουλάκη και Αραβαντινού – Καρλάτου Νικολάου, στις οποίες επιβλέπων καθηγητής ήταν ο κ. Αντωνόπουλος Κίμων, καθηγητής Ε.Μ.Π.

Από τις εργασίες αυτές λήφθηκαν οι ωριαίες τιμές της ολικής ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου, της θερμοκρασίας ξηρού βολβού και της σχετικής υγρασίας, όπως προέκυψαν έπειτα από την επεξεργασία των δεδομένων του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών για την περίοδο 1991-2000. Τα δεδομένα για τις ημέρες 21 Φεβρουαρίου και 21 Ιουλίου δίνονται στο Παράρτημα Ι της εργασίας, ενώ το σύνολο των δεδομένων δίνεται στο CD της εργασίας.

Ακόμα, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Meteororm 5.1 για την εκτίμηση των μετεωρολογικών δεδομένων στην Αθήνα τα οποία συγκρίθηκαν με τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των δεδομένων καθώς και οι τιμές που προέκυψαν δίδονται στο CD της εργασίας, στο αρχείο “Σύγκριση Μετεωρολογικών δεδομένων.xls”. Το αρχείο που παρήχθη από το πρόγραμμα Meteororm είναι το “Meteororm.Dat”.

Τα αρχεία που παράγονται από το Meteororm αποτελούν συνήθη είσοδο στο πρόγραμμα TRNSYS. Στο Meteororm δίνεται η επιλογή να εκτυπωθούν τα μετεωρολογικά με κατάλληλη μορφοποίηση ειδικά για το πρόγραμμα TRNSYS. Η επιλογή αυτή είναι κατάλληλη για παλαιότερες εκδόσεις του TRNSYS και όχι για την έκδοση 16 που χρησιμοποιήθηκε και γι’ αυτό δεν επιλέχθηκε. Για την ανάγνωση μετεωρολογικών δεδομένων έχει δημιουργηθεί στο TRNSYS το μοντέλο 109, το οποίο είναι κατάλληλο για την ανάγνωση μετεωρολογικών αρχείων με συνήθη

μορφοποίηση, όπως των αρχείων με επέκταση .tm2 (Μορφοποίηση TMY2). Τέτοια αρχεία παράγονται από το Meteororm αλλά στην μορφοποίηση αυτή δεν είναι αναγνώσιμα από το χρήστη. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε να εξαχθούν τα δεδομένα από το Meteororm σε μορφοποίηση κατ' επιλογή του χρήστη ("user's defined").

Από τη σύγκριση των δεδομένων προκύπτει πολύ μικρή μέση απόκλιση των ωριαίων τιμών των μεγεθών. Οι αποκλίσεις ανέρχονται μόλις σε $-0,01\text{MJ/m}^2$ για την ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου, $+0,36^\circ\text{C}$ για την θερμοκρασία και 3.51% για την σχετική υγρασία. Αντίθετα εμφανίζεται μεγάλη απόκλιση στη διασπορά των τιμών των μεγεθών με αποτέλεσμα οι τιμές που προέκυψαν από το πρόγραμμα Meteororm να κυμαίνονται από -78,29% έως +94,83% για την ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου, από -42,68% έως +85,85% για την θερμοκρασία και από -42,24% έως +51,31% για την σχετική υγρασία, σε σχέση με τις τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Όμοια συμπεριφορά παρατηρείται για τις ημερήσιες τιμές των μεγεθών, όπου εμφανίζεται μικρή απόκλιση στις μέσες τιμές τους και μεγάλη διακύμανση στην μέγιστη και ελάχιστη απόκλισή τους.

Παρατηρώντας την σχετική απόκλιση των μηνιαίων τιμών της ολικής ακτινοβολίας προκύπτει ότι για τους έξι πρώτους μήνες η απόκλιση είναι αισθητή ενώ για τους υπόλοιπους μήνες παρατηρείται ελάχιστη απόκλιση, της τάξεως του 2%. Η μέγιστη σχετική απόκλιση εμφανίζεται για τον μήνα Μάρτιο και είναι +18,8%. Αντίστοιχα για την θερμοκρασία προκύπτει ότι η απόκλιση για τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Δεκέμβριο είναι αισθητή ενώ κατά τους υπόλοιπους μήνες η απόκλιση είναι και πάλι μικρή, της τάξεως του 4%. Τέλος, για την σχετική υγρασία προκύπτει απόκλιση της τάξεως του +14% για τους μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο με μέγιστη απόκλιση +16,66% κατά τον μήνα Δεκέμβριο, ενώ κατά τους υπόλοιπους μήνες η απόκλιση είναι της τάξεως του +4%. Οι ημερήσιες τιμές των δεδομένων καθώς και η ποσοστιαία απόκλιση των ημερήσιων και μηνιαίων τιμών απεικονίζονται σε διαγράμματα στο τέλος της εργασίας.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι συγκρινόμενες τιμές των μεγεθών είναι παρόμοιες για τους περισσότερους μήνες του έτους. Οι μεγάλες ποσοστιαίες αποκλίσεις των ωριαίων κυρίως τιμών, αλλά και των ημερήσιων, δικαιολογείται λόγω της μεταβλητότητας που χαρακτηρίζει τα μετεωρολογικά μεγέθη. Ωστόσο, σημαντική φαίνεται να είναι η απόκλιση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας κατά τους χειμερινούς μήνες καθότι μεταβάλλονται από +98% έως -54,5% και από -25% έως +30% αντίστοιχα, ενώ παράλληλα η διακύμανσή τους είναι μεγάλη.

6 Αποτελέσματα υπολογισμών και συμπεράσματα

6.1 Φορτία συμβατικού κτηρίου

Γίνεται αναλυτικός προσδιορισμός των φορτίων του ορόφου του συμβατικού κτηρίου το οποίο έχει περιγραφεί στο κεφάλαιο 5.2. Τα φορτία τα οποία υπολογίζονται είναι: φορτία λόγω ανανέωσης αέρα, φορτία λόγω διείσδυσης αέρα, εσωτερικά φορτία, φορτία δια συναγωγής από τις επιφάνειες της ζώνης, φορτία λόγω ηλιακής ακτινοβολίας δια μέσω των υαλοπινάκων, το αισθητό φορτίο, το λανθάνον φορτίο, καθώς και η απαιτούμενη ψύξη και θέρμανση. Τα φορτία αυτά υπολογίζονται για κάθε ζώνη του ορόφου μαζί με την θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία της ζώνης με χρονικό βήμα 1 ώρα. Από αυτά υπολογίζονται οι μηνιαίες τιμές της απαιτούμενης ψύξης της απαιτούμενης θέρμανσης, του φορτίου δια συναγωγής από τις επιφάνειες των τοίχων, του φορτίου λόγω ανανέωσης και διείσδυσης αέρα, τα εσωτερικά φορτία και το φορτίο λόγω ηλιακής ακτινοβολίας δια μέσω των υαλοπινάκων. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι ωριαίες τιμές των φορτίων που δίνονται για τα μεγέθη της συναγωγής, της ακτινοβολίας και της διείσδυσης αέρα αναφέρονται στις ώρες λειτουργίας του γραφείου και όχι σε όλες τις ώρες του έτους. Τα αποτελέσματα των μηνιαίων τιμών δίνονται ακολούθως ενώ τα αντίστοιχα διαγράμματα δίνονται στο Παράρτημα Ι. Λόγω του όγκου των δεδομένων, οι ωριαίες τιμές των αποτελεσμάτων και οι μηνιαίες τιμές για κάθε ζώνη δίνονται στο CD της εργασίας.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι οι ετήσιες απαιτήσεις του ορόφου για θέρμανση και ψύξη ανέρχονται στα 43,874GJ και 56,082GJ αντίστοιχα. Οι μήνες για τους οποίους προκύπτει η μέγιστη απαίτηση για θέρμανση και ψύξη του ορόφου προκύπτουν ο Ιανουάριος και ο Ιούλιος με 12653,713MJ και 16256,863MJ αντίστοιχα. Από τις μηνιαίες τιμές για τις ζώνες του ορόφου προκύπτει ότι ο διάδρομος (ζώνη 5) απαιτεί τη μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση με 712.5kWh για το μήνα Ιανουάριο ενώ αντίστοιχα το «γραφείο 2» (ζώνη 6) απαιτεί το μέγιστο ποσό ενέργειας για ψύξη κατά το μήνα Ιούλιο με 863.7kWh. Καθότι οι διαστάσεις της ζώνης συμβάλουν σημαντικά στην διαμόρφωση των τιμών αυτών, αν ανάγουμε τις ενεργειακές απαιτήσεις ανά μονάδα επιφάνειας δαπέδου του ορόφου, παρατηρούμε ότι στη ζώνη με τα αποχωρητήρια εμφανίζεται απαιτούμενη θέρμανση κατά το μήνα Ιανουάριο 53.3875kWh/m^2 ενώ για το γραφείο 2 εμφανίζεται απαιτούμενη ψύξη ίση με 33.975kWh/m^2 για το μήνα Ιούλιο, οι οποίες είναι και οι μέγιστες των ανοιγμένων ενεργειακών απαιτήσεων. Είναι προφανές ότι ο προσανατολισμός των εξωτερικών τοίχων της ζώνης καθώς και τα εσωτερικά φορτία, όπως αναμενόταν, αποτελούν τους καθοριστικούς παράγοντες για την διαμόρφωση του ολικού ψυκτικού φορτίου της ζώνης. Ακόμα, αξίζει να σημειωθεί ότι το μέγιστο ολικό ψυκτικό φορτίο προκύπτει ίσο με 17917,5kJ/h για την ώρα 5223 (5 Αυγούστου 15:00) στο γραφείο 2 (ζώνη 6), ενώ η μέγιστη απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση

προκύπτει ίση με 22481.33kJ/h την ώρα 514 (21 Ιανουαρίου, 10:00) στην ζώνη του διαδρόμου (ζώνη 5).

Τέλος, παρατηρώντας τα διαγράμματα της απαιτούμενης θέρμανσης και ψύξης για το σύνολο του ορόφου και για κάθε ζώνη ξεχωριστά παρατηρούνται αιχμές. Οι αιχμές αυτές αφορούν στις πρωινές ώρες μετά από τα Σαββατοκύριακα, κατά τα οποία δεν λειτουργούν τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης. Έτσι, κατά τις ώρες αυτές, οι συσκευές θέρμανσης και ψύξης καλούνται να καλύψουν την αυξημένη θερμοκρασιακή διαφορά που έχει δημιουργηθεί.

Πιν. 1

ΦΟΡΤΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΑΕΡΑ	ΑΝΑΝΕΩΣΗ ΑΕΡΑ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ	ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)	(MJ)	(MJ)	(MJ)	(MJ)
Ιαν	12653,713	0,000	-12858,873	-700,074	-1907,001	5815,739	3556,988
Φεβ	9482,707	0,000	-9846,243	-562,317	-1507,645	5084,798	3968,855
Μαρ	6760,358	0,000	-7665,886	-514,757	-1330,140	5595,132	4703,752
Απρ	1365,548	74,274	-2990,967	-302,836	-677,986	5365,885	4629,094
Μάιος	21,385	3527,088	768,602	-145,418	-287,384	5804,939	4490,150
Ιουν	0,000	11232,789	7268,918	175,010	537,879	5355,085	4119,614
Ιουλ	0,000	15939,002	11049,563	317,749	959,635	5605,932	4355,215
Αυγ	0,000	16256,863	11184,407	326,417	985,230	5804,939	5030,806
Σεπ	0,000	7224,681	4093,112	8,009	132,762	5145,278	5506,225
Οκτ	198,364	1827,407	-949,282	-207,109	-435,040	5815,739	5085,931
Νοε	3673,985	0,000	-5383,818	-360,809	-919,455	5564,892	3499,940
Δεκ	9717,966	0,000	-10358,173	-564,072	-1484,338	5396,125	2918,055
Ετησίως (GJ):	43,874	56,082	-15,689	-2,530	-5,933	66,354	51,865

6.2 Επίδραση του προσανατολισμού του κτηρίου

Μελετάται η επίδραση που έχει ο προσανατολισμός του κτηρίου στην απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη του ορόφου. Το κτήριο το οποίο μελετάται είναι το συμβατικό, ενώ για να μελετηθεί η επίδραση των ανατολικών και δυτικών υαλοπινάκων, μελετάται το ίδιο κτήριο στην περίπτωση που δεν υπάρχουν οι ανατολικοί και οι δυτικοί υαλοπίνακες, παρά μόνο οι νότιοι οι οποίοι καλύπτουν και πάλι το 30% της επιφάνειας του τοίχου. Η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία αφορά στις ώρες λειτουργίας του γραφείου και όχι στο σύνολο των ωρών κάθε ημέρας. Η επιλογή αυτή έγινε καθότι κατά τις ώρες 18:00 – 20:00 η ακτινοβολία δεν επιδρά στην απαιτούμενη ψύξη ενώ κατά τις ώρες 4:00 – 8:00 η ακτινοβολία είναι ελάχιστη και αμελήθηκε. Οι πίνακες με τα αποτελέσματα δίνονται ακολούθως ενώ τα αντίστοιχα διαγράμματα δίνονται στο Παράρτημα Ι. Οι μηνιαίες τιμές των μεγεθών για κάθε ζώνη δίνονται στο CD της εργασίας..

ι. Αποτελέσματα για το συμβατικό κτήριο με ποσοστό επιφάνειας υαλοπινάκων 30% στη νότια όψη και 10% στην ανατολική και δυτική

Πιν. 2

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ (MJ)								
ΜΗΝΑΣ	ΣΤΡΟΦΗ	0°	-30°	-60°	-90°	-120°	-150°	-180°
Ιαν		12653,71	12846,80	13106,41	13353,80	13548,20	13596,15	13594,68
Φεβ		9482,71	9648,63	9865,72	10099,34	10344,59	10411,88	10399,10
Μαρ		6760,36	6784,58	6896,25	7074,88	7330,69	7444,23	7441,28
Απρ		1365,55	1329,39	1317,64	1325,09	1362,31	1419,38	1447,62
Μάιος		21,38	19,49	18,51	17,16	13,70	12,46	13,65
Ιουν		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ιουλ		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Αυγ		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σεπ		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Οκτ		198,36	195,31	184,26	166,98	167,70	177,55	185,43
Νοε		3673,99	3678,49	3705,67	3765,75	3861,24	3909,64	3930,16
Δεκ		9717,97	9819,20	10021,25	10227,90	10376,10	10420,93	10432,46
ΕΤΗΣΙΩΣ (GJ):		43,874	44,322	45,116	46,031	47,005	47,392	47,444
ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΤΗΣΙΩΣ:		0	1,02%	2,83%	4,92%	7,14%	8,02%	8,14%

Πιν. 3

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ (MJ)							
ΜΗΝΑΣ \ ΣΤΡΟΦΗ	0°	-30°	-60°	-90°	-120°	-150°	-180°
Ιαν	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Φεβ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Μαρ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Απρ	74,27	64,02	58,80	43,86	27,22	18,93	18,94
Μάιος	3527,09	3615,76	3659,33	3560,09	3438,48	3274,95	3187,79
Ιουν	11232,79	11454,50	11590,33	11503,00	11421,57	11190,96	10999,55
Ιουλ	15939,00	16170,82	16281,60	16158,00	16039,67	15778,38	15587,29
Αυγ	16256,86	16452,48	16462,42	16239,33	15972,20	15627,98	15462,57
Σεπ	7224,68	7178,62	7002,62	6705,90	6334,96	6080,95	6059,58
Οκτ	1827,41	1668,74	1442,73	1232,28	1049,74	984,77	1017,03
Νοε	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Δεκ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΕΤΗΣΙΩΣ (GJ):	56,08	56,60	56,50	55,44	54,28	52,96	52,33
ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΤΗΣΙΩΣ:	0,00%	0,93%	0,74%	-1,14%	-3,21%	-5,57%	-6,69%

Πιν. 4

ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (MJ)							
ΜΗΝΑΣ \ ΣΤΡΟΦΗ	0°	-30°	-60°	-90°	-120°	-150°	-180°
Ιαν	3541,48	3125,06	2589,83	2092,17	1707,71	1571,45	1569,44
Φεβ	3954,92	3521,73	3016,48	2489,77	2002,02	1833,76	1842,14
Μαρ	4655,31	4318,08	3896,96	3383,01	2838,08	2607,37	2618,98
Απρ	4486,91	4378,54	4133,68	3718,25	3289,07	3022,72	3023,55
Μάιος	4181,72	4317,06	4245,99	3950,78	3689,46	3404,82	3347,21
Ιουν	3744,10	3991,56	4001,53	3757,99	3578,12	3272,87	3190,56
Ιουλ	4009,07	4256,16	4235,94	3929,46	3666,85	3309,33	3217,47
Αυγ	4653,62	4691,26	4474,10	3977,52	3460,42	3050,69	3014,15
Σεπ	5175,83	4833,89	4340,89	3665,57	2951,55	2601,11	2620,39
Οκτ	4888,67	4473,05	3869,18	3197,88	2503,95	2204,45	2190,76
Νοε	3430,47	3154,81	2698,96	2222,84	1801,34	1628,55	1600,44
Δεκ	2903,02	2674,16	2254,05	1841,52	1538,29	1410,46	1377,64
ΕΤΗΣΙΩΣ (GJ):	49,63	47,74	43,76	38,23	33,03	29,92	29,61
ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΤΗΣΙΩΣ:	0,00%	-3,81%	-11,82%	-22,97%	-33,45%	-39,71%	-40,33%

ii. Αποτελέσματα για το συμβατικό κτήριο με ποσοστό επιφάνειας υαλοπινάκων
30% στη νότια όψη και 0% στην ανατολική και δυτική
Πιν. 5

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ (MJ)							
ΜΗΝΑΣ \ ΣΤΡΟΦΗ	0°	-30°	-60°	-90°	-120°	-150°	-180°
Ιαν	12846,09	13075,55	13397,31	13660,99	13804,67	13795,84	13785,11
Φεβ	9761,87	9948,97	10211,13	10462,15	10661,35	10692,47	10674,72
Μαρ	7153,72	7182,44	7311,43	7506,87	7736,13	7832,48	7817,03
Απρ	1601,29	1554,70	1526,53	1539,57	1596,01	1664,99	1683,43
Μάιος	34,77	32,30	29,83	28,83	28,55	29,84	31,92
Ιουν	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ιουλ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Αυγ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σεπ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Οκτ	241,21	240,12	237,39	231,28	234,33	236,74	232,17
Νοε	3850,10	3871,16	3939,15	4027,42	4105,92	4113,59	4101,22
Δεκ	9876,88	10002,21	10258,93	10488,90	10607,70	10599,68	10589,58
ΕΤΗΣΙΩΣ (GJ):	45,366	45,907	46,912	47,946	48,775	48,966	48,915
ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΤΗΣΙΩΣ:	0	1,19%	3,41%	5,69%	7,51%	7,93%	7,82%

Πιν. 6

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ (MJ)							
ΜΗΝΑΣ \ ΣΤΡΟΦΗ	0°	-30°	-60°	-90°	-120°	-150°	-180°
Ιαν	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Φεβ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Μαρ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Απρ	65,48	56,36	52,30	38,43	22,07	12,24	9,85
Μάιος	3146,69	3263,74	3373,33	3321,57	3150,88	2917,01	2796,47
Ιουν	10526,55	10807,59	11087,20	11099,91	10912,08	10544,68	10302,18
Ιουλ	15183,50	15477,38	15733,93	15708,29	15476,86	15075,15	14832,81
Αυγ	15474,20	15725,94	15854,14	15698,74	15342,53	14886,46	14681,89
Σεπ	6699,69	6677,47	6540,34	6260,93	5885,10	5594,74	5548,06
Οκτ	1703,08	1552,72	1327,13	1114,89	944,87	872,67	880,41
Νοε	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Δεκ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΕΤΗΣΙΩΣ (GJ):	52,80	53,56	53,97	53,24	51,73	49,90	49,05
ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΤΗΣΙΩΣ:	0	1,44%	2,21%	0,84%	-2,02%	-5,49%	-7,10%

Πιν. 7

ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (MJ)							
ΜΗΝΑΣ \ ΣΤΡΟΦΗ	0°	-30°	-60°	-90°	-120°	-150°	-180°
Ιαν	2920,50	2426,71	1780,08	1263,10	984,28	948,46	948,46
Φεβ	3192,04	2708,77	2120,41	1574,49	1187,19	1079,27	1079,27
Μαρ	3596,84	3249,88	2804,36	2277,86	1792,19	1565,71	1560,51
Απρ	3220,48	3152,95	3005,68	2651,62	2176,45	1805,16	1757,12
Μάιος	2774,24	2992,18	3113,62	2940,65	2526,04	2061,97	1939,72
Ιουν	2306,76	2676,40	2964,16	2887,99	2471,51	1918,55	1753,22
Ιουλ	2539,93	2905,51	3154,19	3010,54	2521,83	1921,88	1748,33
Αυγ	3238,74	3360,36	3330,02	2940,80	2297,65	1706,08	1599,28
Σεπ	3942,40	3620,22	3172,06	2523,56	1828,81	1411,81	1386,96
Οκτ	3954,22	3508,39	2814,18	2081,34	1478,58	1256,56	1256,30
Νοε	2806,93	2492,17	1937,89	1412,02	1057,69	976,90	976,90
Δεκ	2394,86	2115,08	1593,68	1142,02	898,74	869,49	869,49
ΕΤΗΣΙΩΣ (GJ):	36,89	35,21	31,79	26,71	21,22	17,52	16,88
ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΤΗΣΙΩΣ:	0	-4,55%	-13,82%	-27,60%	-42,47%	-52,50%	-54,25%

Συμπεράσματα

Η απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη ελαχιστοποιείται όταν το κύριο μέρος των ανοιγμάτων έχουν προσανατολισμό βόρειο (στροφή 180°), γεγονός λογικό καθώς σε αυτήν την περίπτωση δεν έχουμε ανοίγματα στην νότια όψη του ορόφου στην οποία εμφανίζεται η μέγιστη πρόσπτωση ακτινοβολίας κατά τους θερινούς μήνες, ενώ παράλληλα η εισερχόμενη ακτινοβολία από τους βόρειους υαλοπίνακες είναι μικρότερη. Έτσι, η ενέργεια από την ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στο κτήριο κατά τους θερινούς μήνες ελαχιστοποιείται με αποτέλεσμα την εμφάνιση μικρότερων ψυκτικών φορτίων.

Η ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση εμφανίζεται, όπως αναμενόταν όταν το μεγαλύτερο ποσοστό των υαλοπινάκων έχουν νότιο προσανατολισμό και το υπόλοιπο μέρος κατανέμεται στην ανατολική και δυτική όψη του ορόφου. Αυτό οφείλεται στους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Η απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση κατά τους χειμερινούς μήνες μεγιστοποιείται για στροφή κτηρίου ίση με 150°, ενώ αντίθετα η απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση ετησίως μεγιστοποιείται στις 180°. Στην περίπτωση που υπάρχουν υαλοπίνακες μόνο στην νότια όψη του κτηρίου, η απαιτούμενη θέρμανση μεγιστοποιείται στις 150° για όλους τους μήνες του έτους και όχι στις 180° όπως αναμενόταν. Το αποτέλεσμα αυτό δεν είναι λογικό καθότι, όταν το κτήριο είναι στραμμένο κατά 150° έχει προσανατολισμό βόρειο – βορειοανατολικό, με αποτέλεσμα να προσπίπτει

περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία κατά τις πρωινές ώρες απ' ό,τι όταν αυτό στρέφεται κατά 180° , με αποτέλεσμα να θερμαίνεται περισσότερο. Σημειώνεται ότι η διαφορά της απαιτούμενης θέρμανσης που προκύπτει για κάθε μήνα για στροφή κτηρίου 150° και 180° είναι πολύ μικρή (π.χ. για τον μήνα Ιανουάριο $13795,84\text{MJ}$ για στροφή κτηρίου 150° και $13785,11\text{MJ}$ για στροφή κτηρίου 180°). Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι, στην περίπτωση που δεν υπάρχουν υαλοπίνακες στην ανατολική και δυτική όψη του κτηρίου, η ακτινοβολία υπολογίσθηκε για τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Δεκέμβριο ακριβώς ίση για 150° και 180° , γεγονός το οποίο αποτελεί ένδειξη ότι οι υπολογισμοί έγιναν χωρίς μεγάλη ακρίβεια, αν όχι εσφαλμένα. Τέλος σημειώνεται ότι οι παράμετροι του μοντέλου 16 (“επεξεργαστής της ηλιακής ακτινοβολίας”) ορίστηκαν με βάση το εγχειρίδιο του Trnsys και ελέγχθηκαν επανειλημμένα χωρίς να βρεθεί κάποιο λάθος στον προγραμματισμό του. Η περιγραφή του μοντέλου γίνεται στο κεφάλαιο 3.5 (σελ. 45) και οι ρυθμίσεις του μοντέλου στο κεφάλαιο 5.3.1 (σελ. 102).

Η μέγιστη απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη, στην περίπτωση που υπάρχουν υαλοπίνακες στην ανατολική και δυτική όψη του κτηρίου, εμφανίζεται όταν το κτήριο είναι στραμμένο κατά 30° ενώ στην περίπτωση που δεν υπάρχουν υαλοπίνακες παρά μόνο στην νότια όψη, αυτή μεγιστοποιείται για στροφή κτηρίου 60° . Η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία έχει αντίστοιχη συμπεριφορά στις δύο περιπτώσεις και για τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο. Προφανώς η διαφορά αυτή ανάμεσα στα δύο εξεταζόμενα κτήρια οφείλεται στην επίδραση των υαλοπινάκων στην ανατολική και δυτική όψη του κτηρίου.

6.3 Επίδραση της οροφής του κτηρίου

Μελετάται η επίδραση των εξωτερικών οροφών του κτηρίου στην απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη και θέρμανσή του μελετώμενου ορόφου. Το κύριο μέγεθος που μεταβάλλεται είναι και πάλι η συναγωγή από τις επιφάνειες του ορόφου. Οι οροφές που μελετώνται είναι οι οροφές 1, 2, 3, κατασκευασμένες με βάση τα Ελληνικά πρότυπα. Στο συμβατικά κατασκευασμένο κτήριο χρησιμοποιείται η οροφή 2 και με βάση αυτήν γίνονται οι συγκρίσεις. Οι οροφές δημιουργήθηκαν εκ νέου στο πρόγραμμα TRNBuild μέσω των διαχειριστών τοίχων και υλικών. Η περιγραφή τους καθώς και τα χαρακτηριστικά των υλικών που εισήχθησαν φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πιν. 8 Περιγραφή Οροφών

Κωδικός Οροφής	Περιγραφή	Κωδικοί στρωμάτων	Ολική θερμοπερατότητα U (Watt/m ² K)
Οροφή 1	Ταράτσα με μόνωση 6cm και γαρμπιλόδεμα	CG,WP,I6,C7,CR,FL	0.464
Οροφή 2	Οροφή από σκυρόδεμα 14cm χωρίς μόνωση	CR,FL	3.995
Οροφή 3	Οροφή με κισσηρόδεμα και κυψελωτό μπετόν	CC,CP,CR,FL	1.470

Σημείωση: Κατά την δημιουργία των εξωτερικών οροφών στο πρόγραμμα TRNBuild, εισήχθησαν τα ακριβή δεδομένα των υλικών του παρακάτω πίνακα και ο συντελεστής ολικής θερμοπερατότητας των οροφών υπολογίστηκε εσωτερικά από το πρόγραμμα. Οι τιμές του U που δίνονται στην βιβλιογραφία [4] διαφέρουν ελαφρά από αυτές που υπολογίστηκαν από το TRNSYS. Οι τιμές που δίνονται στην βιβλιογραφία είναι: 0,461 Watt/m²K , 3,793 Watt/m²K , 1,442 Watt/m²K, αντίστοιχα για τις οροφές 1,2,3.

Πιν. 9 Περιγραφή υλικών των οροφών

Υλικό	Περιγραφή	Πάχος d (m)	Πυκνότητα ρ (kg/m ³)	Ειδική θερμότητα C (kJ/kgK)	Συντελεστής συναγωγιμότητας k (kJ/mK)
CC	Κυψελωτό μπετόν	0.10	961	880	0.26
CG	Γαρμπιλόδεμα	0.07	2300	880	2.2
CP	Κισσηρόδεμα	0.10	2300	880	2.2
CR	Ενισχυμένο σκυρόδεμα	0.14	2300	880	2.2
C7	Σκυρόδεμα	0.07	2300	880	2.2
I6	Μόνωση	0.06	32	840	0.038
FL	Επίχρισμα	0.02	1860	835	1.2
WP	Στεγανοποίηση	0.01	32	840	0.038

Για την εξωτερική επιφάνεια όλων των οροφών, ο συντελεστής συναγωγιμότητας h_o λαμβάνεται ίσος με 17W/m²K (61.2kJ/m²K) ενώ για τις εσωτερικές τους επιφάνειες λαμβάνεται 8,3W/m²K (29,88kJ/m²K), όπως και στους τοίχους. Ομοίως, ο

συντελεστής απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας λαμβάνεται ίσος με 0,44 για όλες τις εξωτερικές και τις εσωτερικές επιφάνειες.

Κατά την εκτέλεση του προγράμματος υπολογίστηκαν από το Trnsys οι συντελεστές της συνάρτησης μεταφοράς. Ακολουθώς δίνεται τα απόσπασμα των αρχείων με επέκταση .inf, στα οποία εκτυπώθηκαν:

Πιν. 10 Συντελεστές συνάρτησης μεταφοράς για την οροφή 1

THERMAL CONDUCTANCE, U= 12.70588 kJ/h m2K; k-Wert= 2.20588 W/m2K

TRANSFERFUNCTION COEFFICIENTS

K	A	B	C	D
0	8.2683336E+01	1.1058488E-02	8.2683336E+01	1.0000000E+00
1	-1.2961120E+02	7.8800901E-01	-1.2961120E+02	-9.4007742E-01
2	5.6595843E+01	1.7627718E+00	5.6595843E+01	1.8353799E-01
3	-6.7936280E+00	4.4787271E-01	-6.7936280E+00	-5.6021666E-03
4	1.4831617E-01	1.2640104E-02	1.4831617E-01	1.3943024E-05
5	-2.8845257E-04	2.5882562E-05	-2.8845257E-04	
6	2.3728924E-08	2.1064337E-09	2.3729038E-08	
SUM	3.0223780E+00	3.0223780E+00	3.0223780E+00	2.3787234E-01

Πιν. 11 Συντελεστές συνάρτησης μεταφοράς για την οροφή 2

THERMAL CONDUCTANCE, U= 44.83019 kJ/h m2K; k-Wert= 3.99516 W/m2K

TRANSFERFUNCTION COEFFICIENTS

K	A	B	C	D
0	1.4284965E+02	7.4177268E+00	1.1264717E+02	1.0000000E+00
1	-1.2374587E+02	2.2118711E+01	-8.7855665E+01	-2.8392447E-01
2	1.3088459E+01	2.6174268E+00	7.3859367E+00	1.2589377E-03
3	-3.3998663E-02	4.3747410E-03	-1.9206679E-02	
4	6.8693531E-08	6.2763650E-09	4.2683579E-08	
SUM	3.2158239E+01	3.2158239E+01	3.2158239E+01	7.1733446E-01

Πιν. 12 Συντελεστές συνάρτησης μεταφοράς για την οροφή 3

THERMAL CONDUCTANCE, U= 7.05367 kJ/h m2K; k-Wert= 1.46978 W/m2K

TRANSFERFUNCTION COEFFICIENTS

K	A	B	C	D
0	3.1746743E+01	6.2078900E-06	1.1263531E+02	1.0000000E+00
1	-6.8805404E+01	1.1286286E-02	-2.3515412E+02	-1.5832139E+00
2	5.0746857E+01	1.3402140E-01	1.6359531E+02	7.6071934E-01
3	-1.4886823E+01	1.9275893E-01	-4.5151087E+01	-1.2708832E-01
4	1.6446786E+00	5.2068910E-02	4.5983582E+00	5.3296216E-03
5	-5.3568807E-02	2.6950822E-03	-1.3191990E-01	-5.0997710E-05
6	3.7741993E-04	2.2540055E-05	1.0100305E-03	6.2840048E-08
7	-4.1543854E-07	2.2523340E-08	-9.9383345E-07	
SUM	3.9285938E-01	3.9285938E-01	3.9285938E-01	5.5695779E-02

Οι τιμές των συντελεστών της συνάρτησης μεταφοράς αποκλίνουν σημαντικά από αυτές της βιβλιογραφίας.[1]

Από τους υπολογισμούς προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα. Οι συγκρίσεις γίνονται με βάση το συμβατικό κτήριο στο οποίο χρησιμοποιείται η οροφή 2, ενώ όλες οι άλλοι παράμετροι παραμένουν ίδιες. Τα σχετικά διαγράμματα δίνονται στο Παράρτημα Ι, ενώ τα αποτελέσματα για κάθε ζώνη ξεχωριστά δίνονται μαζί με τις ωριαίες τιμές των μελετώμενων μεγεθών στο CD της εργασίας.

Πιν. 13

ΟΡΟΦΗ 1								
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ		ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)					
Ιαν	6460,69	0,00	-6939,50		Ιαν	-48,94%	0,00%	-46,03%
Φεβ	4867,71	0,00	-5470,74		Φεβ	-48,67%	0,00%	-44,44%
Μαρ	3178,51	0,00	-4314,54		Μαρ	-52,98%	0,00%	-43,72%
Απρ	528,43	77,26	-2315,12		Απρ	-61,30%	4,02%	-22,60%
Μάιος	0,36	3020,05	69,27		Μάιος	0,00%	-14,38%	-90,99%
Ιουν	0,00	8576,07	4378,99		Ιουν	0,00%	-23,65%	-39,76%
Ιουλ	0,00	12294,34	7198,61		Ιουλ	0,00%	-22,87%	-34,85%
Αυγ	0,00	12968,48	7698,73		Αυγ	0,00%	-20,23%	-31,17%
Σεπ	0,00	6957,03	3593,04		Σεπ	0,00%	-3,70%	-12,22%
Οκτ	28,85	2730,33	111,15		Οκτ	-85,46%	49,41%	-111,71%
Νοε	1270,28	55,21	-2884,52		Νοε	-65,42%	0,00%	-46,42%
Δεκ	4886,51	0,00	-5725,92		Δεκ	-49,72%	0,00%	-44,72%
ΕΤΗΣΙΩΣ (GJ):	21,221	46,679	-4,601		ΕΤΗΣΙΩΣ:	-51,63%	-16,77%	-70,68%

Πιν. 14

ΟΡΟΦΗ 3							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
Ιαν	8341,35	0,00	-8777,67	Ιαν	-34,08%	0,00%	-31,74%
Φεβ	6387,05	0,00	-6969,63	Φεβ	-32,65%	0,00%	-29,22%
Μαρ	4297,24	0,00	-5464,50	Μαρ	-36,43%	0,00%	-28,72%
Απρ	744,25	25,84	-2677,37	Απρ	-45,50%	-65,21%	-10,48%
Μάιος	0,85	2809,75	-162,88	Μάιος	-96,04%	-20,34%	-121,19%
Ιουν	0,00	9054,90	4842,96	Ιουν	0,00%	-19,39%	-33,37%
Ιουλ	0,00	13128,16	8008,14	Ιουλ	0,00%	-17,63%	-27,53%
Αυγ	0,00	13680,71	8388,16	Αυγ	0,00%	-15,85%	-25,00%
Σεπ	0,00	6817,51	3452,51	Σεπ	0,00%	-5,64%	-15,65%
Οκτ	63,90	2231,74	-481,77	Οκτ	-67,79%	22,13%	-49,25%
Νοε	1888,49	7,67	-3653,21	Νοε	-48,60%	0,00%	-32,14%
Δεκ	6414,23	0,00	-7231,83	Δεκ	-34,00%	0,00%	-30,18%
ΕΤΗΣΙΩΣ (G):	28,137	47,756	-10,727	ΕΤΗΣΙΩΣ:	-35,87%	-14,85%	-31,63%

Συμπεράσματα

Κατά τους υπολογισμούς προέκυψε ότι η χρήση της μονωμένης οροφής 1 αντί της αμόνωτης οροφής 2 επιφέρει μείωση τόσο της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση κατά τους χειμερινούς μήνες, όσο και της απαιτούμενης ενέργειας για ψύξη κατά τους θερινούς. Ετησίως η απαιτούμενη θέρμανση μειώνεται κατά 51,63% ενώ η απαιτούμενη ψύξη κατά 16,77%. Αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα για την οροφή 3 η οποία επιφέρει μείωση της απαιτούμενης θέρμανσης κατά 35,87% και της απαιτούμενης ψύξης κατά 14,85% ετησίως. Όπως ήταν αναμενόμενο, η αύξηση της μόνωσης της οροφής, επιφέρει μεγάλη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων του κτηρίου καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Επίσης, παρατηρείται μεγάλη μείωση του φορτίου από το σύνολο των επιφανειών του ορόφου, γεγονός που δείχνει ότι διαμορφώνεται σε μεγαλύτερο βαθμό από τις οροφές παρά από τους εξωτερικούς τοίχους. Η μεγάλη μεταβολή στα τρία παραπάνω μεγέθη δικαιολογείται από την μεγάλη επιφάνεια των οροφών στο κτήριο, καθώς και από το γεγονός ότι είναι οριζόντιες με αποτέλεσμα να θερμαίνονται πολύ περισσότερο από την ηλιακή ακτινοβολία. Τέλος η μεταβολή είναι μεγαλύτερη συγκρινόμενη με αυτήν των εξωτερικών τοίχων λόγω της μεγαλύτερης μείωσης του συντελεστή ολικής θερμοπερατότητας, η οποία είναι από 3,995W/m² σε 0,464W/m² στην περίπτωση

των οροφών και από $2,13\text{W/m}^2$ σε $0,664\text{W/m}^2$ στην περίπτωση των εξωτερικών τοίχων.

6.4 Επίδραση των εξωτερικών τοίχων

Μελετάται η επίδραση των εξωτερικών τοίχων του κτηρίου στην απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη και θέρμανσή του μελετώμενου ορόφου. Το κύριο μέγεθος που μεταβάλλεται είναι η μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής από τους τοίχους του ορόφου. Οι τοίχοι που μελετώνται είναι οι τοίχοι με κωδικές ονομασίες: G1, G2. Στο συμβατικά κατασκευασμένο κτήριο, χρησιμοποιείται ο τοίχος G2 και με βάση αυτό γίνονται οι συγκρίσεις. Σημειώνεται ότι στους πίνακες τιμών που δίδονται παρακάτω, το μέγεθος «Συναγωγή από επιφάνειες» αναφέρεται στην συναγωγή από το σύνολο των εσωτερικών επιφανειών κάθε ζώνης του ορόφου, συμπεριλαμβανομένων των εσωτερικών τοίχων και των οροφών και όχι μόνο των εξωτερικών τοίχων. Η μεταβολή όμως του μεγέθους αυτού οφείλεται στην μεταβολή του είδους του τοίχου που χρησιμοποιείται καθότι οι υπόλοιπες παράμετροι διατηρούνται ίδιες.

Οι τοίχοι δημιουργήθηκαν εξ αρχής με τη βοήθεια του διαχειριστή υλικών και του διαχειριστή τοίχων του προγράμματος TRNBuild. Η περιγραφή των τοίχων καθώς και τα χαρακτηριστικά των υλικών αυτών φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Σημείωση: Κατά την δημιουργία των εξωτερικών οροφών στο πρόγραμμα TRNBuild, εισήχθησαν τα ακριβή δεδομένα των υλικών του παρακάτω πίνακα και ο συντελεστής ολικής θερμοπερατότητας των οροφών υπολογίστηκε εσωτερικά από το πρόγραμμα. Οι τιμές του U που δίνονται στην βιβλιογραφία [4] διαφέρουν ελαφρά από αυτές που υπολογίστηκαν από το TRNSYS. Οι τιμές που δίνονται στην βιβλιογραφία είναι: $0,66\text{ Watt/m}^2\text{K}$, $2,13\text{ Watt/m}^2\text{K}$, $1,37\text{ Watt/m}^2\text{K}$, αντίστοιχα για τους τοίχους G1, G2, G3

Πιν. 15 Περιγραφή εξωτερικών τοίχων

Κωδική ονομασία τοίχου	Περιγραφή τοίχου	Κωδικοί Στρωμάτων υλικών	Συντελεστής ολικής θερμοπερατότητας U ($\text{W/m}^2\text{K}$)
G1	Διπλός δρομικός με 40cm μόνωση	FL,B9,I4,B9,FL	0.66
G2	Διπλός δρομικός αμόνωτος	FL,B9,B9,FL	2.13

Πιν. 16 Περιγραφή Υλικών των εξωτερικών τοίχων

Υλικό	Περιγραφή	Πάχος d (m)	Πυκνότητα ρ (kg/m ³)	Ειδική θερμότητα C (kJ/kgK)	Συντελεστής συναγωγιμότητας k (kJ/mK)
B9	Δρομικό τούβλο	0.09	1920	840	0.72
I4	Μόνωση	0.04	32	840	0.038
FL	Επίχρισμα	0.020	1860	835	1.2

Για την εξωτερική επιφάνεια όλων των τοίχων ο συντελεστής συναγωγιμότητας h_o λαμβάνεται ίσος με $17\text{W/m}^2\text{K}$ ($61,2\text{kJ/m}^2\text{K}$) ενώ για τις εσωτερικές τους επιφάνειες λαμβάνεται $8,3\text{W/m}^2\text{K}$ ($29,88\text{kJ/m}^2\text{K}$). Ο συντελεστής απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας λαμβάνεται ίσος με 0,44 για όλες τις εξωτερικές και εσωτερικές επιφάνειες. Η τιμή αυτή ελήφθη ώστε να ισχύει ότι $h_o/\alpha = 38$, επιθυμώντας να θεωρηθούν ανοιχτόχρωμες οι εξωτερικές επιφάνειες. Για τις εσωτερικές θεωρήθηκε ίδιος καθότι η εσωτερική στρώση είναι του ίδιου υλικού και θεωρείται ίδιου χρώματος με την εξωτερική.

Κατά την εκτέλεση των προγραμμάτων υπολογίστηκαν από το TRNSYS οι συντελεστές της συνάρτησης μεταφοράς οι οποίοι εκτυπώνονται στα αρχεία με επέκταση .inf που αφορούν το κτίριο. Το απόσπασμα των αρχείων δίνεται ακολούθως:

Πιν. 17 Συντελεστές συνάρτησης μεταφοράς για τον τοίχο G2

THERMAL CONDUCTANCE, U= 12.70588 kJ/h m²K; k-Wert= 2.20588 W/m²K

TRANSFERFUNCTION COEFFICIENTS

K	A	B	C	D
0	8.2683336E+01	1.1058488E-02	8.2683336E+01	1.0000000E+00
1	-1.2961120E+02	7.8800901E-01	-1.2961120E+02	-9.4007742E-01
2	5.6595843E+01	1.7627718E+00	5.6595843E+01	1.8353799E-01
3	-6.7936280E+00	4.4787271E-01	-6.7936280E+00	-5.6021666E-03
4	1.4831617E-01	1.2640104E-02	1.4831617E-01	1.3943024E-05
5	-2.8845257E-04	2.5882562E-05	-2.8845257E-04	
6	2.3728924E-08	2.1064337E-09	2.3729038E-08	
SUM	3.0223780E+00	3.0223780E+00	3.0223780E+00	2.3787234E-0

Πιν. 18 Συντελεστές συνάρτησης μεταφοράς για τον τοίχο G1

THERMAL CONDUCTANCE, U= 2.69468 kJ/h m²K; k-Wert= 0.66403 W/m²K

TRANSFERFUNCTION COEFFICIENTS

K	A	B	C	D
0	8.2672947E+01	2.2554483E-04	8.2672947E+01	1.0000000E+00
1	-1.6705974E+02	4.0052274E-02	-1.6705974E+02	-1.3842350E+00
2	1.0640321E+02	1.6321710E-01	1.0640321E+02	5.2222597E-01
3	-2.2687297E+01	8.2055233E-02	-2.2687297E+01	-3.0337863E-02
4	9.7331459E-01	5.7986865E-03	9.7331459E-01	4.8304294E-04
5	-1.1042052E-02	4.3298258E-05	-1.1042052E-02	-1.0010154E-07
6	1.9016534E-06	1.7773833E-08	1.9016534E-06	
SUM	2.9139215E-01	2.9139215E-01	2.9139215E-01	1.0813603E-01

Σημειώνεται ότι οι τιμές αυτές αποκλίνουν και πάλι σημαντικά από τις τιμές που βρέθηκαν στη βιβλιογραφία.[1]

Από τους υπολογισμούς προκύπτουν τα ακόλουθα αποτελέσματα. Οι συγκρίσεις γίνονται με βάση το συμβατικό κτήριο στο οποίο χρησιμοποιείται ο τοίχος G2, ενώ όλες οι άλλοι παράμετροι παραμένουν ίδιες.

Πιν. 19

ΤΟΙΧΟΣ G1							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
Ιαν	11368,48	0,00	-11649,00	Ιαν	-10,16%	0,00%	-9,41%
Φεβ	8638,67	0,00	-9073,18	Φεβ	-8,90%	0,00%	-7,85%
Μαρ	6212,76	0,00	-7208,04	Μαρ	-8,10%	0,00%	-5,97%
Απρ	1283,67	31,94	-3076,70	Απρ	-6,00%	-57,00%	2,87%
Μάιος	14,78	2941,21	99,79	Μάιος	-30,88%	-16,61%	-87,02%
Ιουν	0,00	9914,43	5896,12	Ιουν	0,00%	-11,74%	-18,89%
Ιουλ	0,00	14314,89	9382,48	Ιουλ	0,00%	-10,19%	-15,09%
Αυγ	0,00	14623,83	9513,70	Αυγ	0,00%	-10,05%	-14,94%
Σεπ	0,00	6522,51	3328,25	Σεπ	0,00%	-9,72%	-18,69%
Οκτ	171,15	1698,79	-1107,57	Οκτ	-13,72%	-7,04%	16,67%
Νοε	3219,27	0,00	-4975,01	Νοε	-12,38%	0,00%	-7,59%
Δεκ	8744,35	0,00	-9444,27	Δεκ	-10,02%	0,00%	-8,82%
ΕΤΗΣΙΩΣ (GJ):	39,653	50,048	-18,313	ΕΤΗΣΙΩΣ:	-9,62%	-10,76%	16,73%

Στο Παράρτημα I δίνονται τα σχετικά διαγράμματα που αφορούν τα συγκρινόμενα μεγέθη, ενώ οι μηνιαίες τιμές για κάθε ζώνη και οι ωριαίες τιμές των αποτελεσμάτων δίνονται στο CD της εργασίας.

Συμπεράσματα

Όπως φαίνεται, η προσθήκη μόνωσης στους εξωτερικούς τοίχους συμβάλει σημαντικά στην μείωση τόσο της απαιτούμενης θέρμανσης ετησίως όσο και της απαιτούμενης ψύξης. Συνολικά προκύπτει όφελος 9,62% της απαιτούμενης θέρμανσης με χρήση του τοίχου G1 αντί του G2 και μείωση κατά 10,76% της απαιτούμενης ψύξης.

6.5 Επίδραση των υαλοπινάκων

Μελετάται η χρήση τριών τυπικών υαλοπινάκων: Μονός, Διπλός, Διπλός χαμηλής εκπομπής και τριπλός. Το κύριο μέγεθος το οποίο μεταβάλλεται είναι το θερμικό κέρδος λόγω ηλιακής ακτινοβολίας. Οι υαλοπίνακες πάρθηκαν από την βιβλιοθήκη του TRNSYS (TESS\W4-lib.dat) με κωδικούς αριθμούς WinID: 7021, 7041, 7201, 7401 και η περιγραφή τους δίνεται ακολούθως. Στο συμβατικό κτήριο χρησιμοποιούνται μονοί υαλοπίνακες και με βάση αυτούς προκύπτουν οι συγκρίσεις.

Πιν. 20 Ιδιότητες υαλοπινάκων

Κωδικός υαλοπίνακα	Περιγραφή	u (Watt/m ² K)	g (%/100)	SC	e*
ASH A-17.2a	Μονός	5,44	0.815	0.87	0,84
ASH A-17.4a	Διπλός	3,2	0,698	0.76	0,84
ASH A-17.20a	Διπλός χαμηλής εκπομπής	2,43	0.700	0.76	0,1
ASH A-17.28a	Τριπλός	2,27	0.611	0.68	0,84

*Σημειώνεται ότι ο συντελεστής εκπομπής αναφέρεται στην εξωτερική επιφάνεια του εξωτερικού υαλοπίνακα.. Για όλες τις άλλες επιφάνειες και για όλους τους υαλοπίνακες λαμβάνει την τιμή: e=0,84.

Στον παραπάνω πίνακα, ο συντελεστής g αναφέρεται στην οπτική διαπερατότητα του υαλοπίνακα και αντιστοιχεί στον παράγοντα ηλιακού θερμικού κέρδους SHGF. Το πάχος των υαλοπινάκων είναι κοινό για όλες τις περιπτώσεις και ίσο με 5,7mm. Επίσης τα διάκενα στους διπλούς υαλοπίνακες και στον τριπλό είναι ίδιο και ίσο με 6,4mm.

Το πλαίσιο θεωρήθηκε το ίδιο για όλες τις περιπτώσεις με τύπο: “Al – no break” (Αλουμινένιο). Η ολική θερμοπερατότητα του θεωρήθηκε ίση με $u = 10.79\text{kJ/m}^2\text{K}$, ο συντελεστής απορρόφησης $\alpha=0,9$, και η επιφάνεια του ανά μονάδα επιφάνειας του υαλοπίνακα = 16,3 %. Για τον καθορισμό του συντελεστή συναγωγμότητας του υαλοπίνακα ελήφθη η προεπιλογή του TRNSYS: $64\text{kJ/m}^2\text{K}$ και $11\text{kJ/m}^2\text{K}$ για την εξωτερική και εσωτερική επιφάνεια αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών δίνονται ακολούθως, ενώ τα σχετικά διαγράμματα δίνονται στο Παράρτημα Ι. Οι μηνιαίες τιμές για κάθε ζώνη δίνονται στο Παράρτημα ΙΙ και οι ωριαίες τιμές των μελετώμενων μεγεθών δίνονται στο CD της εργασίας.

Πιν. 21

ΔΙΠΛΟΣ							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
Ιαν	12392,73	0,00	2663,05	Ιαν	-2,06%	0,00%	-25,13%
Φεβ	9332,15	0,00	2950,94	Φεβ	-1,59%	0,00%	-25,65%
Μαρ	6667,78	0,00	3427,48	Μαρ	-1,37%	0,00%	-27,13%
Απρ	1352,59	67,32	3239,80	Απρ	-0,95%	-9,36%	-30,01%
Μάιος	21,42	3432,63	2996,72	Μάιος	0,19%	-2,68%	-33,26%
Ιουν	0,00	11011,34	2671,36	Ιουν	0,00%	-1,97%	-35,16%
Ιουλ	0,00	15625,64	2849,33	Ιουλ	0,00%	-1,97%	-34,58%
Αυγ	0,00	15860,17	3311,00	Αυγ	0,00%	-2,44%	-34,19%
Σεπ	0,00	6969,48	3763,96	Σεπ	0,00%	-3,53%	-31,64%
Οκτ	197,62	1731,60	3633,30	Οκτ	-0,37%	-5,24%	-28,56%
Νοε	3590,45	0,00	2573,73	Νοε	-2,27%	0,00%	-26,46%
Δεκ	9518,59	0,00	2186,13	Δεκ	-2,05%	0,00%	-25,08%
ΕΤΗΣΙΕΣ (GJ):	43,073	54,698	36,267	ΕΤΗΣΙΕΣ (GJ):	-1,82%	-2,47%	-30,07%

Πιν. 22

ΔΙΠΛΟΣ ΜΕ ΧΑΜΗΛΗ ΕΚΠΟΜΠΗ							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
Ιαν	12249,76	0,00	2605,42	Ιαν	-3,19%	0,00%	-26,75%
Φεβ	9214,00	0,00	2885,43	Φεβ	-2,83%	0,00%	-27,30%
Μαρ	6571,13	0,00	3347,60	Μαρ	-2,80%	0,00%	-28,83%
Απρ	1322,79	77,52	3160,60	Απρ	-3,13%	4,37%	-31,72%
Μάιος	20,36	3498,23	2923,21	Μάιος	-4,77%	-0,82%	-34,90%
Ιουν	0,00	11050,05	2604,98	Ιουν	0,00%	-1,63%	-36,77%
Ιουλ	0,00	15641,03	2777,88	Ιουλ	0,00%	-1,87%	-36,22%
Αυγ	0,00	15870,58	3226,77	Αυγ	0,00%	-2,38%	-35,86%
Σεπ	0,00	7022,94	3672,21	Σεπ	0,00%	-2,79%	-33,31%
Οκτ	193,68	1775,18	3551,15	Οκτ	-2,36%	-2,86%	-30,18%
Νοε	3534,47	0,00	2517,64	Νοε	-3,80%	0,00%	-28,07%
Δεκ	9407,13	0,00	2139,37	Δεκ	-3,20%	0,00%	-26,69%
ΕΤΗΣΙΕΣ (GJ):	42,513	54,936	35,412	ΕΤΗΣΙΕΣ :	-3,10%	-2,04%	-31,72%

Πιν. 23

ΤΡΙΠΛΟΣ								
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ		ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)					
Ιαν	12307,65	0,00	1935,12		Ιαν	-2,73%	0,00%	-45,60%
Φεβ	9304,20	0,00	2126,21		Φεβ	-1,88%	0,00%	-46,43%
Μαρ	6661,17	0,00	2437,06		Μαρ	-1,47%	0,00%	-48,19%
Απρ	1356,75	59,37	2266,12		Απρ	-0,64%	-20,07%	-51,05%
Μάιος	21,84	3354,11	2093,13		Μάιος	2,15%	-4,90%	-53,38%
Ιουν	0,00	10849,90	1864,52		Ιουν	0,00%	-3,41%	-54,74%
Ιουλ	0,00	15397,94	1979,83		Ιουλ	0,00%	-3,39%	-54,54%
Αυγ	0,00	15567,32	2286,59		Αυγ	0,00%	-4,24%	-54,55%
Σεπ	0,00	6774,21	2643,34		Σεπ	0,00%	-6,24%	-51,99%
Οκτ	199,22	1645,03	2605,68		Οκτ	0,43%	-9,98%	-48,77%
Νοε	3565,38	0,00	1865,55		Νοε	-2,96%	0,00%	-46,70%
Δεκ	9454,54	0,00	1592,12		Δεκ	-2,71%	0,00%	-45,44%
ΕΤΗΣΙΕΣ (GJ):	42,871	53,648	25,695		ΕΤΗΣΙΕΣ	-2,29%	-4,34%	-50,46%

Συμπεράσματα

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η μεγαλύτερη μείωση της απαιτούμενης θέρμανσης επιφέρεται με τη χρήση διπλού υαλοπίνακα με χαμηλή εκπομπή (-3,10%). Αυτό συμβαίνει διότι ο εν λόγω υαλοπίνακας επιτρέπει στην ακτινοβολία να εισέλθει στο κτήριο αλλά την εμποδίζει να εξέλθει ($e = 0.1$). Έτσι, παρόλο που, σε σχέση με τον διπλό υαλοπίνακα, επιτρέπει ελαφρώς λιγότερη ακτινοβολία να εισέλθει στο χώρο, η ιδιότητά του αυτή τον καθιστά καταλληλότερο κατά τους χειμερινούς μήνες. Η χρήση τριπλού υαλοπίνακα, επιφέρει σχεδόν ίδια μείωση της απαιτούμενης θέρμανσης με τον διπλό, καθώς μειώνει το φορτίο δια συναγωγής ($U = 2,27 \text{kJ/m}^2\text{K}$ έναντι $U = 3,2 \text{kJ/m}^2\text{K}$ για τον διπλό) αλλά παράλληλα μειώνει κατά πολύ περισσότερο την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία ($SC = 0.68$ έναντι $SC = 0.76$ για τον διπλό). Ο πλέον ακατάλληλος προκύπτει προφανώς ο μονός υαλοπίνακας ο οποίος ενώ επιτρέπει το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας να εισέλθει, το γεγονός ότι προκύπτει και το μέγιστο φορτίο δια συναγωγής ($U = 5,44 \text{kJ/m}^2\text{K}$) επιφέρει τελικώς αύξηση της απαιτούμενης θέρμανσης κατά τους χειμερινούς μήνες.

Όσον αφορά τους θερινούς μήνες, η απαίτηση για ψύξη ελαχιστοποιείται με τη χρήση τριπλού υαλοπίνακα (-4,34%), καθώς για τον εν λόγω υαλοπίνακα ελαχιστοποιείται και το φορτίο λόγω ηλιακής ακτινοβολίας αλλά και δια συναγωγής. Ο διπλός υαλοπίνακας εμφανίζεται ελαφρώς καταλληλότερος από τον διπλό με

χαμηλή εκπομπή, καθώς ο δεύτερος παγιδεύει την ηλιακή ακτινοβολία μέσα στο χώρο.

6.6 Επίδραση σταθερής και κινητής σκίασης

Μελετάται η επίδραση της εξωτερικής σταθερής και κινητής σκίασης στις ενεργειακές απαιτήσεις του ορόφου. Στην περίπτωση της σταθερής σκίασης τοποθετήθηκαν στους υαλοπίνακες με νότιο προσανατολισμό οριζόντια σκίαστρα. Για την προσομοίωση της κινητής σκίασης, θεωρήθηκε πως το σύστημα σκίασης είτε επιτρέπει πλήρως την ηλιακή ακτινοβολία να εισέλθει στο χώρο είτε αποκόπτει το 80% αυτής ανάλογα με την ένταση της στο επίπεδο του υαλοπίνακα. Η μέθοδος προσομοίωσης αντιπροσωπεύει γενικά την χρήση κινητής σκίασης στην ιδανική της περίπτωση. Συγκεκριμένα τα σκίαστρα κατά την προσομοίωση κλείνουν όταν η προσπίπτουσα ακτινοβολία στο επίπεδο του υαλοπίνακα γίνει 140Watt/m^2 και ανοίγουν όταν μειωθεί κάτω από 120Watt/m^2 . Καθότι κατά τους χειμερινούς μήνες επιθυμούμε την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας στο κτήριο, θεωρείται ότι κατά τους μήνες αυτούς τα κινητά σκίαστρα παραμένουν ανοικτά ανεξαρτήτως της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας.

Για την σταθερή σκίαση πραγματοποιούνται παραμετρικές εκτελέσεις του προγράμματος προσομοίωσης με σκοπό την εύρεση του βέλτιστου μήκους και της βέλτιστης απόστασης των οριζόντιων προεξοχών από τον υαλοπίνακα. Οι υαλοπίνακες θεωρήθηκαν πως έχουν ύψος 1,2m ενώ τα πλάτη τους περιγράφονται στο κεφάλαιο 5.3.3.

Καθότι το μοντέλο της σταθερής σκίασης του TRNSYS (Μοντέλο 34) βασίζεται κατά τον υπολογισμό της διάχυτης ακτινοβολίας στο μοντέλο του ισοτροπικού ουρανού, οι τιμές που προκύπτουν δεν μπορούν να συγκριθούν με τις τιμές που έχουν υπολογιστεί για το βασικό κτήριο. Λαμβάνονται νέες τιμές για τις ενεργειακές απαιτήσεις του ορόφου εκτελώντας το πρόγραμμα για μήκη σκιάστρων ίσα με 0m σε απόσταση 999m και με βάση τις τιμές αυτές γίνονται όλες οι συγκρίσεις που αφορούν την σταθερή σκίαση. Τα αποτελέσματα της κινητής σκίασης συγκρίνονται με τα αποτελέσματα του ορόφου του συμβατικού κτηρίου όπως αυτά είχαν υπολογιστεί προηγουμένως.

i. Σταθερή σκίαση

Για τον προσδιορισμό της επίδρασης της οριζόντιας σταθερής σκίασης πραγματοποιείται παραμετρική εκτέλεση του προγράμματος προσομοίωσης με παραμέτρους το μήκος του σκιάστρου (L) και την απόστασή του από το άνω μέρος του υαλοπίνακα (d). Μέτρο σύγκρισης για την αξιολόγηση της απόδοσης του σκιάστρου αποτελεί το άθροισμα των ετήσιων τιμών της απαιτούμενης θέρμανσης και ψύξης, καθότι η τοποθέτηση σκίασης επιδρά θετικά κατά τους θερινούς μήνες αλλά έχει αρνητική επίπτωση τους χειμερινούς. Στην πραγματικότητα οι βέλτιστες

παράμετροι προκύπτουν συνυπολογίζοντας το κόστος της καταναλισκόμενης ενέργειας για ψύξη και για θέρμανση καθώς και το κόστος εγκατάστασης των σκιάστρων. Καθότι η παρούσα εργασία δεν λαμβάνει υπόψη οικονομικά μεγέθη, αλλά εξετάζει την ενεργειακή φύση του προβλήματος, η σύγκριση γίνεται με βάση το άθροισμα αυτό. Ακολούθως δίνονται τα αποτελέσματα για τις βέλτιστες παραμέτρους όπως αυτές προέκυψαν και οι ετήσιες συνολικές τιμές για θέρμανση και ψύξη του ορόφου. Τα αποτελέσματα για όλες τις τιμές των παραμέτρων δίνονται μαζί με τα σχετικά διαγράμματα στο Παράρτημα Ι . Οι μηνιαίες τιμές για κάθε ζώνη δίνονται στο CD της εργασίας.

Οι βέλτιστες τιμές προέκυψαν για μήκος σκιάστρου $L=1.2\text{m}$ και $d=0.6\text{m}$.

ΧΩΡΙΣ ΣΚΙΑΣΗ			
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)
Ιαν	13020,44	0,00	2840,12
Φεβ	9902,35	0,00	3072,35
Μαρ	7201,10	0,00	3408,88
Απρ	1516,44	13,77	3062,14
Μάιος	25,35	2928,50	2729,17
Ιουν	0,00	10532,64	2386,82
Ιουλ	0,00	15158,19	2529,34
Αυγ	0,00	15360,36	3009,93
Σεπ	0,00	6483,43	3639,80
Οκτ	212,71	1454,05	3699,66
Νοε	3834,96	0,00	2704,81
Δεκ	10005,18	0,00	2323,43
Ετησίως(GJ):	45,72	51,93	35,41

Πιν. 24 Αποτελέσματα βέλτιστης οριζόντιας σκίασης για νότιο προσανατολισμό

d=0,6m L=1,2m							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
Ιαν	12975,21	0,00	2925,67	Ιαν	1,16%	0,00%	-9,01%
Φεβ	9943,71	0,00	2987,18	Φεβ	2,76%	0,00%	-15,99%
Μαρ	7371,17	0,00	2947,16	Μαρ	5,81%	0,00%	-27,94%
Απρ	1575,91	8,08	2583,14	Απρ	9,09%	-81,43%	-32,71%
Μάιος	25,63	2875,43	2581,16	Μάιος	4,20%	-11,42%	-25,98%
Ιουν	0,00	10516,28	2356,73	Ιουν	0,00%	-3,31%	-23,02%
Ιουλ	0,00	15117,95	2451,42	Ιουλ	0,00%	-2,83%	-25,71%
Αυγ	0,00	15137,33	2588,74	Αυγ	0,00%	-4,53%	-34,21%
Σεπ	0,00	6109,65	2856,33	Σεπ	0,00%	-11,58%	-36,88%
Οκτ	213,44	1340,30	3416,24	Οκτ	2,56%	-19,87%	-21,81%
Νοε	3828,16	0,00	2730,03	Νοε	1,83%	0,00%	-11,76%
Δεκ	9960,04	0,00	2409,22	Δεκ	1,06%	0,00%	-8,26%
Ετησίως(GJ):	45,89	51,11	32,83	Ετησίως	2,53%	-5,65%	-23,82%

Πιν. 25 Αποτελέσματα βέλτιστης οριζόντιας σκίασης στο νότιο προσανατολισμό σε συνδυασμό με κάθετη σκίαση στους υαλοπίνακες με προσανατολισμό δυτικό και ανατολικό

Οριζόντια: d=0,6m L=1,2m, Κάθετη: d=0m, L=0,6m							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
Ιαν	13124,56	0,00	2659,50	Ιαν	2,33%	0,00%	-17,29%
Φεβ	10109,79	0,00	2681,80	Φεβ	4,48%	0,00%	-24,58%
Μαρ	7563,85	0,00	2572,90	Μαρ	8,57%	0,00%	-37,09%
Απρ	1667,28	7,17	2216,24	Απρ	15,41%	-87,29%	-42,27%
Μάιος	30,76	2764,51	2228,86	Μάιος	25,43%	-15,75%	-36,08%
Ιουν	0,00	10337,78	2045,51	Ιουν	0,00%	-5,20%	-33,19%
Ιουλ	0,00	14926,46	2125,28	Ιουλ	0,00%	-4,22%	-35,59%
Αυγ	0,00	14920,14	2228,01	Αυγ	0,00%	-6,15%	-43,38%
Σεπ	0,00	5921,65	2465,32	Σεπ	0,00%	-15,17%	-45,52%
Οκτ	237,50	1286,92	3046,45	Οκτ	14,14%	-24,58%	-30,27%
Νοε	3936,23	0,00	2468,53	Νοε	4,70%	0,00%	-20,21%
Δεκ	10077,73	0,00	2192,60	Δεκ	2,25%	0,00%	-16,50%
Ετησίως(GJ):	46,75	50,16	28,93	Ετησίως	4,44%	-7,38%	-32,87%

Πιν. 26 Ετήσια απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη ανά μήκος οριζοντίου σκιάστρου και απόστασή του από τον υαλοπίνακα για νότιο προσανατολισμό.

ΕΤΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΣΚΙΑΣΗΣ ΝΟΤΙΩΝ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ (GJ)

		ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ			ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
		(GJ)	(GJ)	(GJ)			-	-	-
d (m)	L (m)				d (m)	L (m)			
0	0	44,762	54,163	43,097	0	0			
	0,3	45,719	51,931	35,406		0,3	2,14%	-4,12%	-17,84%
	0,6	46,570	50,774	30,324		0,6	4,04%	-6,26%	-29,64%
0	0,9	47,299	50,163	27,020	0	0,9	5,67%	-7,38%	-37,30%
	1,2	47,877	49,849	24,792		1,2	6,96%	-7,96%	-42,47%
	1,5	48,306	49,696	23,287		1,5	7,92%	-8,25%	-45,97%
	0,3	45,048	52,730	39,090		0,3	0,64%	-2,64%	-9,30%
	0,6	45,786	51,433	33,933		0,6	2,29%	-5,04%	-21,26%
0,2	0,9	46,519	50,712	30,291	0,2	0,9	3,93%	-6,37%	-29,71%
	1,2	47,141	50,289	27,707		1,2	5,32%	-7,15%	-35,71%
	1,5	47,640	50,061	25,855		1,5	6,43%	-7,57%	-40,01%
	0,3	44,873	53,286	40,869		0,3	0,25%	-1,62%	-5,17%
	0,6	45,251	51,993	36,753		0,6	1,09%	-4,01%	-14,72%
0,4	0,9	45,849	51,209	33,190	0,4	0,9	2,43%	-5,45%	-22,99%
	1,2	46,475	50,707	30,392		1,2			
	1,5	47,008	50,405	28,297		1,5	3,83%	-6,38%	-29,48%
	0,3	44,824	53,613	41,774		0,3	5,02%	-6,94%	-34,34%
	0,6	45,029	52,471	38,516		0,6	0,14%	-1,01%	-3,07%
0,6	0,9	45,401	51,663	35,504	0,6	0,9	0,60%	-3,12%	-10,63%
	1,2	45,893	51,105	32,833		0,9	1,43%	-4,61%	-17,62%
	1,5	46,426	50,741	30,596		1,2	2,53%	-5,65%	-23,82%
						1,5	3,72%	-6,32%	-29,01%

Πιν. 27 Αποτελέσματα ετήσιας συνολικής απαίτησης για ψύξη και θέρμανση

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΨΥΞΗ ΕΤΗΣΙΩΣ			
d (m)	L (m)	(GJ)	
0	0	98,925	-
	0,3	97,649	-1,29%
	0,6	97,344	-1,60%
	0,9	97,462	-1,48%
	1,2	97,726	-1,21%
	1,5	98,002	-0,93%
0,2	0,3	97,778	-1,16%
	0,6	97,219	-1,72%
	0,9	97,231	-1,71%
	1,2	97,430	-1,51%
	1,5	97,701	-1,24%
0,4	0,3	98,159	-0,77%
	0,6	97,244	-1,70%
	0,9	97,059	-1,89%
	1,2	97,182	-1,76%
	1,5	97,413	-1,53%
0,6	0,3	98,438	-0,49%
	0,6	97,501	-1,44%
	0,9	97,065	-1,88%
	1,2	96,998	-1,95%
	1,5	97,167	-1,78%
Συνδιασμός Οριζόντιας και Κάθετης:		96,91	-2,03%

Συμπεράσματα

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα, βλέπουμε ότι για κάθε απόσταση d της προεξοχής από το άνω μέρος του υαλοπίνακα, παρουσιάζεται μια βέλτιστη τιμή του μήκους του σκιάστρου L , για την οποία προκύπτει η ελάχιστη συνολική κατανάλωση του ορόφου για θέρμανση και ψύξη. Αυτό γίνεται εμφανέστερο στο διάγραμμα «Συνολική απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη και θέρμανση ετησίως - μήκος οριζοντίου προεξοχής και απόσταση της από τον υαλοπίνακα για νότιο προσανατολισμό» το οποίο δίνεται στο Παράρτημα Ι. Με περεταίρω αύξηση του μήκους L , παρατηρείται μείωση των απαιτήσεων του ορόφου για ψύξη αλλά και δυσανάλογη αύξηση των αντίστοιχων για θέρμανση. Αυτό, οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τους χειμερινούς μήνες, το ηλιακό ύψος είναι μικρότερο απ' ό,τι κατά τους θερινούς, με αποτέλεσμα να έχουμε μικρότερο ποσοστό σκίασης το χειμώνα απ' ό,τι το καλοκαίρι για το ίδιο

μήκος σκιάστρου. Μεγάλη όμως αύξηση του μήκους του σκιάστρου, οδηγεί σε αποκοπή μεγάλου ποσοστού ηλιακής ακτινοβολίας και κατά το χειμώνα, με αποτέλεσμα την αύξηση των συνολικών απαιτήσεων σε θέρμανση και ψύξη.

Παρατηρώντας τη γραφική παράσταση της απαιτούμενης ψύξης προκύπτει μεγάλη μεταβολή της για μικρού μήκους σκιάστρα ενώ τείνει να μηδενισθεί όσο μεγαλώνει το μήκος του σκιάστρου. Αυτό σημαίνει πως για κάποιο μήκος του σκιάστρου και έπειτα, επιτυγχάνεται η μέγιστη αποκοπή της ηλιακής ακτινοβολίας στο κτήριο κατά τους θερινούς μήνες. Ομοίως, από την καμπύλη της απαιτούμενης θέρμανσης παρατηρείται αύξηση της καταναλισκόμενης ενέργειας με αύξηση του μήκους του σκιάστρου, γεγονός λογικό καθότι αυξάνεται το ποσοστό της αποκοπτόμενης ηλιακής ακτινοβολίας δια μέσω του υαλοπίνακα κατά την περίοδο του χειμώνα. Επίσης, έχουμε μείωση της απαιτούμενης θέρμανσης με αύξηση της απόστασης d της προεξοχής από το άνω μέρος του υαλοπίνακα καθώς μειώνεται η σκίαση του παραθύρου κατά τους χειμερινούς μήνες.

Κατά την μελέτη προέκυψε ότι τη βέλτιστη συμπεριφορά παρουσιάζει το σκιάστρο με μήκος προεξοχής $L = 1,2\text{m}$ και απόσταση του από το άνω μέρος του υαλοπίνακα $d = 0,6\text{m}$, για το οποίο παρουσιάζεται μείωση της απαιτούμενης ψύξης κατά 5,65% και αύξηση της απαιτούμενης θέρμανσης κατά 2,53%. Το ενεργειακό όφελος συνολικά για θέρμανση και ψύξη του ορόφου ανέρχεται στα 1,929GJ που αντιστοιχεί σε μείωση 1,95%. Η αντίστοιχη μείωση της εισερχόμενης ακτινοβολίας προκύπτει 23,02%, 25,71% και 34,21% αντίστοιχα για τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο, οι οποίες κρίνονται ικανοποιητικές. Το γεγονός ότι η μείωση αυτή επιφέρει μόλις 5,65% μείωση της απαιτούμενης ψύξης είναι αποτέλεσμα των μεγάλων απωλειών του κτηρίου λόγω αμόνωντων επιφανειών (τοιχών, οροφών). Επίσης το συνολικό όφελος είναι συνάρτηση της απαιτούμενης θέρμανσης και ψύξης και το γεγονός ότι τα δύο αυτά μεγέθη κυμαίνονται στις ίδιες τιμές έχει ως αποτέλεσμα να εμφανίζεται μικρή βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς του κτηρίου.

Στην περίπτωση όπου η οριζόντια σκίαση στο νότιο προσανατολισμό συνδυάζεται με σκίαση των ανατολικών και δυτικών υαλοπινάκων με κάθετη σκίαση μήκους 0,6m αριστερά και δεξιά των υαλοπινάκων, προκύπτει μείωση 7,38% της απαιτούμενης ψύξης ετησίως, αύξηση 4,44% της απαιτούμενης θέρμανσης και τελικώς μείωση της συνολικής ετήσιας ενέργειας για θέρμανση και ψύξη κατά 2,03%. Συνεπώς η χρήση κάθετης σκίασης συμβάλει και αυτή ελαφρά στην βελτίωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτηρίου, σε μικρότερο όμως βαθμό, όπως και ήταν αναμενόμενο απ' ότι η οριζόντια σκίαση. Χαρακτηριστική είναι η αύξηση της απαιτούμενης θέρμανσης που προκύπτει με την τοποθέτηση κάθετης σκίασης στους υαλοπίνακες, δείγμα του ότι με σταθερό σύστημα σκίασης των ανατολικών και δυτικών υαλοπινάκων δεν μπορούμε να έχουμε βέλτιστο αποτέλεσμα.

ii. Κινητή σκίαση

Η μείωση της απαιτούμενης ψύξης λόγω της χρήσης κινητού συστήματος σκίασης ανά μήνα είναι η εξής:

Πιν. 28

ΚΤΗΡΙΟ ΜΕ ΚΙΝΗΤΗ ΣΚΙΑΣΗ					
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)			
Ιαν	0,00	3541,48	Ιαν	0,00%	-0,44%
Φεβ	0,00	3954,92	Φεβ	0,00%	-0,35%
Μαρ	0,00	4655,31	Μαρ	0,00%	-1,03%
Απρ	74,27	4486,91	Απρ	0,00%	-3,07%
Μάιος	3527,09	4181,72	Μάιος	0,00%	-6,87%
Ιουν	9782,99	923,47	Ιουν	-12,91%	-77,58%
Ιουλ	14333,54	980,38	Ιουλ	-10,07%	-77,49%
Αυγ	14287,15	1079,38	Αυγ	-12,12%	-78,54%
Σεπ	7221,78	5175,83	Σεπ	-0,04%	-6,00%
Οκτ	1827,41	4888,67	Οκτ	0,00%	-3,88%
Νοε	0,00	3430,47	Νοε	0,00%	-1,98%
Δεκ	0,00	2903,02	Δεκ	0,00%	-0,52%
ΕΤΗΣΙΩΣ (GJ):	51,054	40,202	ΕΤΗΣΙΩΣ	-8,97%	-22,49%

Κατά την εκτέλεση του προγράμματος παρατηρήθηκε σφάλμα στον υπολογισμό της εισερχόμενης ακτινοβολίας. Το σφάλμα αυτό οφείλεται στην ενεργοποίηση της επιλογής “παράγοντας εξωτερικής σκίασης” στα παράθυρα κάθε ζώνης στο πρόγραμμα TRNBuild. Τα αποτελέσματα δίνονται στον παραπάνω πίνακα όπως αυτά προέκυψαν. Για την εύρεση του σφάλματος που παρατηρήθηκε πραγματοποιήθηκε εκτέλεση του προγράμματος έχοντας ενεργοποιημένη την επιλογή “παράγοντας εξωτερικής σκίασης” και μεταβάλλοντας τις σχέσεις στην εξίσωση “Shading” από: $S_SOUTH = 0,8 * Input1 * summer$, $S_EAST = 0,8 * Input2 * summer$ $S_WEST = 0,8 * Input3 * summer$ σε **0**. Τα αποτελέσματα δίνονται στο αρχείο montly0.out και ακολούθως δίνεται ο πίνακας με τις τιμές που προέκυψαν:

Πιν. 29

ΚΤΗΡΙΟ ΜΕ ΚΙΝΗΤΗ ΣΚΙΑΣΗ 0m***							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
		(MJ)	(MJ)				
Ιαν	12653,71	0,00	3541,48	Ιαν	0,00%	0,00%	-0,44%
Φεβ	9482,71	0,00	3954,92	Φεβ	0,00%	0,00%	-0,35%
Μαρ	6760,36	0,00	4655,31	Μαρ	0,00%	0,00%	-1,03%
Απρ	1365,55	74,27	4486,91	Απρ	0,00%	0,00%	-3,07%
Μάιος	21,38	3527,09	4181,72	Μάιος	0,00%	0,00%	-6,87%
Ιουν	0,00	11232,79	3744,10	Ιουν	0,00%	0,00%	-9,12%
Ιουλ	0,00	15939,00	4009,07	Ιουλ	0,00%	0,00%	-7,95%
Αυγ	0,00	16256,86	4653,62	Αυγ	0,00%	0,00%	-7,50%
Σεπ	0,00	7224,68	5175,83	Σεπ	0,00%	0,00%	-6,00%
Οκτ	198,36	1827,41	4888,67	Οκτ	0,00%	0,00%	-3,88%
Νοε	3673,99	0,00	3430,47	Νοε	0,00%	0,00%	-1,98%
Δεκ	9717,97	0,00	2903,02	Δεκ	0,00%	0,00%	-0,52%
ΕΤΗΣΙΩΣ (GJ):	43,874	56,082	49,625	ΕΤΗΣΙΩΣ:	0,00%	0,00%	-4,32%

Παρατηρείται ότι το σφάλμα στους υπολογισμούς της αποκοπτόμενης ακτινοβολίας δεν επηρεάζει ούτε την απαιτούμενη θέρμανση ούτε την απαιτούμενη ψύξη του ορόφου, ούτε κατά την περίπτωση που οι τιμές αποκλίνουν κατά 9,12%, γεγονός το οποίο μπορεί να εξηγηθεί μονό αν θεωρήσουμε ότι το πρόγραμμα λαμβάνει τις σωστές τιμές της εισερχόμενης ακτινοβολίας για τους υπολογισμούς, ενώ η περίπτωση να μην λαμβάνεται υπόψη η μείωση της ακτινοβολίας αποκλείεται από το γεγονός ότι έχουμε μείωση της ψύξης όταν όντως σκιάζονται οι υαλοπίνακες και μάλιστα μόνο όταν το σύστημα σκίασης λειτουργεί. Σημειώνεται ότι τα αποτελέσματα δίνονται από το Trnsys με δεκαεξί ψηφία και δεν προκύπτει διαφορά ούτε στο τελευταίο ψηφίο. Κατά συνέπεια τα αποτελέσματα που αφορούν την ψύξη θεωρούνται σωστά.

Τα διαγράμματα με τους υπολογισμούς όπως προέκυψαν για την κινητή σκίαση δίνονται στο Παράρτημα I ενώ τα αποτελέσματα με τις μηνιαίες τιμές για κάθε ζώνη δίνονται στο CD της εργασίας.

Συμπεράσματα

Παρατηρείται μεγάλη μείωση της απαίτησης του κτηρίου για ψύξη χωρίς αύξηση της απαίτησης σε θέρμανση γεγονός το οποίο δικαιολογείται από την προσομοίωση της ιδανικής συμπεριφοράς ενός συστήματος κινητής σκίασης.

Με βάση τα αποτελέσματα προκύπτει μείωση της απαιτούμενης ψύξης κατά 8,97% ετησίως ενώ παρατηρείται μείωση κατά 10,07% - 12,91% κατά τους μήνες

που λειτουργεί το σύστημα σκίασης, το οποίο αντιστοιχεί σε εξοικονόμηση 5,028GJ. Η απαιτούμενη θέρμανση παραμένει αμετάβλητη καθώς δεν έχουμε καθόλου σκίαση των υαλοπινάκων κατά τους χειμερινούς μήνες και γι' αυτό δεν παρουσιάζεται στον παραπάνω πίνακα. Αυτό είναι και το πλεονέκτημα της κινητής σκίασης έναντι της σταθερής. Μειονέκτημά της συγκριτικά με τη σταθερή σκίαση αποτελεί το αυξημένο κόστος εγκατάστασης αλλά και το γεγονός ότι απαιτεί κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την κίνηση του συστήματος, μεγέθη όμως που δεν αφορούν την παρούσα εργασία. Παρόλο αυτά, αναφέρεται ότι κινητά συστήματα σκίασης χρησιμοποιούνται συνήθως σε πολύ μεγαλύτερα κτήρια από αυτό που μελετάται και συνήθως σε κτήρια με υαλοπετάσματα, στα οποία το φορτίο της ηλιακής ακτινοβολίας έχει σημαντικό ρόλο.

Τέλος, με βάση και τα αποτελέσματα από την μελέτη της σταθερής σκίασης, προκύπτει ότι το μεγάλο ποσοστό σκίασης της επιφάνειας των υαλοπινάκων θα απαιτούσε πολύ μεγάλο μήκος προβόλου. Αντί αυτού, θα μπορούσε να επιτευχθεί με κινητές περσίδες κάθετα τοποθετημένες εξωτερικά των υαλοπινάκων, στρεφόμενων περί οριζοντίου άξονα.

6.7 Νυκτερινός αερισμός

Μελετάται η επίδραση της χρήσης νυκτερινού αερισμού κατά τους θερινούς μήνες, Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο στις ενεργειακές απαιτήσεις του ορόφου που μελετάται. Ο νυκτερινός αερισμός του κτηρίου εκκινεί στις 21:00 κάθε εργάσιμη ημέρα και διαρκεί έως τις 8:00π.μ. της επόμενης. Παρασκευή και Σάββατο βράδυ, ο αερισμός δεν λειτουργεί, ενώ την Κυριακή εκκινεί στις 21:00. Για την ποσότητα του αέρα που εισέρχεται στο κτήριο λαμβάνονται δύο περιπτώσεις: 3 εναλλαγές /ώρα και 5 εναλλαγές/ ώρα. Οι πίνακες με τους υπολογισμούς δίνονται ακολούθως, ενώ τα σχετικά διαγράμματα δίνονται στο Παράρτημα Ι. Οι ωριαίες τιμές των μεγεθών που μελετώνται δίνονται στο CD της εργασίας.

Πιν. 30

ΚΤΗΡΙΟ ΜΕ ΝΥΚΤΕΡΙΝΟ ΑΕΡΙΣΜΟ (3 εναλλαγές/ ώρα)					
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΦΟΡΤΙΟ ΝΥΚΤΕΡΙΝΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	
	(MJ)				
Ιαν	0,00	0,00	Ιαν	0,00%	
Φεβ	0,00	0,00	Φεβ	0,00%	
Μαρ	0,00	0,00	Μαρ	0,00%	
Απρ	74,27	0,00	Απρ	0,00%	
Μάιος	3527,09	0,00	Μάιος	0,00%	
Ιουν	10515,23	-1849,32	Ιουν	-6,39%	
Ιουλ	15222,36	-1805,62	Ιουλ	-4,50%	
Αυγ	15568,39	-1694,34	Αυγ	-4,23%	
Σεπ	7223,67	0,00	Σεπ	-0,01%	
Οκτ	1827,41	0,00	Οκτ	0,00%	
Νοε	0,00	0,00	Νοε	0,00%	
Δεκ	0,00	0,00	Δεκ	0,00%	
ΕΤΗΣΙΩΣ (GJ):	53,958	-5,349	ΕΤΗΣΙΩΣ:	-3,79%	

Πιν. 31

ΚΤΗΡΙΟ ΜΕ ΝΥΚΤΕΡΙΝΟ ΑΕΡΙΣΜΟ (5 εναλλαγές/ ώρα)					
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΦΟΡΤΙΟ ΝΥΚΤΕΡΙΝΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	
	(MJ)				
Ιαν	0,00	0,00	Ιαν	0,00%	
Φεβ	0,00	0,00	Φεβ	0,00%	
Μαρ	0,00	0,00	Μαρ	0,00%	
Απρ	74,27	0,00	Απρ	0,00%	
Μάιος	3527,09	0,00	Μάιος	0,00%	
Ιουν	10181,83	-2728,23	Ιουν	-9,36%	
Ιουλ	14884,25	-2665,70	Ιουλ	-6,62%	
Αυγ	15244,28	-2499,90	Αυγ	-6,23%	
Σεπ	7223,19	0,00	Σεπ	-0,02%	
Οκτ	1827,41	0,00	Οκτ	0,00%	
Νοε	0,00	0,00	Νοε	0,00%	
Δεκ	0,00	0,00	Δεκ	0,00%	
ΕΤΗΣΙΩΣ (GJ):	52,962	-7,894	ΕΤΗΣΙΩΣ:	-5,56%	

ΚΤΗΡΙΟ ΜΕ ΝΥΚΤΕΡΙΝΟ ΑΕΡΙΣΜΟ (20 εναλλαγές/ ώρα)				
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΦΟΡΤΙΟ ΝΥΚΤΕΡΙΝΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ
	(MJ)			
Ιαν	0,00	0,00	Ιαν	0,00%
Φεβ	0,00	0,00	Φεβ	0,00%
Μαρ	0,00	0,00	Μαρ	0,00%
Απρ	74,27	0,00	Απρ	0,00%
Μάιος	3527,09	0,00	Μάιος	0,00%
Ιουν	9066,66	-5807,04	Ιουν	-19,28%
Ιουλ	13716,62	-5696,94	Ιουλ	-13,94%
Αυγ	14125,67	-5330,62	Αυγ	-13,11%
Σεπ	7221,48	0,00	Σεπ	-0,04%
Οκτ	1827,41	0,00	Οκτ	0,00%
Νοε	0,00	0,00	Νοε	0,00%
Δεκ	0,00	0,00	Δεκ	0,00%
ΕΤΗΣΙΩΣ (GJ):	49,559	-16,835	ΕΤΗΣΙΩΣ:	-11,63%

Σημειώνεται ότι το φορτίο εναλλαγής αέρα κατά τη διάρκεια της νύκτας αναφέρεται στις ώρες κατά τις οποίες λειτουργεί το σύστημα του νυκτερινού αερισμού (21:00 – 8:00), ενώ η απαιτούμενη ψύξη στις ώρες που λειτουργεί το σύστημα ψύξης (8:00 – 18:00).

Στο Παράρτημα I δίνεται η θερμοκρασία για την νοτιοανατολική ζώνη (γραφείο 2) κατά την πρώτη εβδομάδα του Ιουλίου (Κυριακή 6 Ιουλίου – Σάββατο 12 Ιουλ.), στην περίπτωση που έχουμε νυκτερινό αερισμό με 3 εναλλαγές την ώρα και στην περίπτωση που δεν έχουμε νυκτερινό αερισμό. Κατά την Κυριακή αυτή, και καθώς δεν λειτουργεί το σύστημα ψύξης εκτός ωρών λειτουργίας του γραφείου, εμφανίστηκαν οι μέγιστες θερμοκρασίες για το έτος μέσα στο κτήριο (35,5°C στη ζώνη “γραφείο 2”). Η θερμοκρασία μειώνεται έως τη Δευτέρα στις 7:00 στους 29,5°C, ενώ στο συμβατικό κτήριο η θερμοκρασία είχε μειωθεί στους 30,6°C. Έτσι, γίνεται εμφανές ότι ο νυκτερινός αερισμός με μόνο 3 εναλλαγές αέρα/ ώρα δεν αποδίδει ικανοποιητική ψύξη των χώρων του κτηρίου και ιδιαίτερα όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι ιδιαίτερος υψηλή.

Ακόμα, στο Παράρτημα I δίνεται το διάγραμμα της θερμοκρασίας για την εβδομάδα 16 Ιουνίου – 23 Ιουνίου στην περίπτωση που έχουμε νυκτερινό αερισμό με 5 και 20 εναλλαγές την ώρα και στην περίπτωση του συμβατικού κτηρίου. Κατά την εβδομάδα αυτή παρατηρήθηκαν τα μέγιστα φορτία εναλλαγής αέρα κατά τις ώρες λειτουργίας του συστήματος του νυκτερινού αερισμού. Προκύπτει ότι η θερμοκρασία την Δευτέρα στις 7:00 μειώνεται από τους 27,5°C, που είχε προκύψει για το βασικό κτήριο, στους 25,9°C με 5 εναλλαγές/ ώρα, ενώ όλη την υπόλοιπη εβδομάδα έχουμε αντίστοιχη μείωση της θερμοκρασίας (-1,5°C) σε σχέση με την περίπτωση του

συμβατικού κτηρίου. Με 20 εναλλαγές/ ώρα η θερμοκρασία μειώνεται στους 24°C, με αποτέλεσμα κατά την ώρα που εκκινεί η λειτουργία του κτηρίου να μην απαιτείται ψύξη του.

Συμπεράσματα

Από την μελέτη των δύο περιπτώσεων προκύπτει για 5 εναλλαγές/ ώρα μείωση της απαιτούμενης ψύξης για τους θερινούς μήνες 6,23% - 9,36% και για 3 εναλλαγές μείωση 4,23% - 6,39%, ενώ για 20 εναλλαγές/ ώρα 13,11% - 19,28%. Παρατηρείται ότι ο νυκτερινός αερισμός είναι αποδοτικότερος κατά τον μήνα Ιούνιο παρά για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, καθότι κατά τις νυκτερινές ώρες η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι χαμηλότερη το μήνα αυτό. Η θερμοκρασία στις 7:00 κατά τους θερινούς μήνες προκύπτει κατά 1°C, 1,7°C και 3,5°C χαμηλότερη απ' ότι στο συμβατικό κτήριο με 3, 5 και 20 εναλλαγές αέρα/ ώρα αντίστοιχα. Η μείωση των θερμοκρασιών κατά τις πρωινές ώρες είναι συνάρτηση της θερμικής μάζας του κτηρίου και σε περίπτωση που εφαρμοζόταν σε κτήριο με μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα, η συμβολή του αναμένεται να ήταν μεγαλύτερη. Επίσης, η συμβολή του νυκτερινού αερισμού αυξάνεται με αύξηση του ρυθμού εναλλαγής αέρα καθότι οι θερμοκρασίες στις ζώνες του ορόφου δεν μειώνονται τόσο ώστε να πλησιάζουν την εξωτερική θερμοκρασία κατά την ώρα που εκκινεί η λειτουργία του συστήματος ψύξης (ώρα εκκίνησης λειτουργίας γραφείου). Η μεγάλη αύξηση των εναλλαγών επιτυγχάνεται στην πραγματικότητα με υποβοήθηση του φυσικού αερισμού με μηχανικά μέσα. Τέλος, παρατηρείται ότι ο νυκτερινός αερισμός θα μπορούσε να είχε εφαρμοστεί και κατά τους μήνες Σεπτέμβριο και Μάιο όπου εμφανίζονται ψυκτικά φορτία και η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της νύκτας είναι χαμηλότερες σε σχέση με τους θερινούς μήνες.

6.8 Γενικά συμπεράσματα

Η διαμόρφωση των φορτίων εντός του κτιρίου προέκυψε ότι καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την ύπαρξη εξωτερικής οροφής και την μόνωση αυτής και ακολούθως από την μόνωση των εξωτερικών τοίχων και το ποσό της εισερχόμενης ακτινοβολίας. Τα οφέλη από την σκίαση των υαλοπινάκων αποδείχθηκαν σημαντικότερα από την τοποθέτηση διπλών και τριπλών υαλοπινάκων, καθότι αποκόπτουν σημαντικό μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τους θερινούς μήνες. Όταν δε η σκίαση είναι κινητή, τα οφέλη είναι ακόμη μεγαλύτερα καθότι αφενός αποκόπτεται και πάλι μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας κατά το θέρος αλλά παράλληλα επιτρέπεται η διέλευση του κατά το χειμώνα, χρησιμοποιώντας την ηλιακή ενέργεια για θέρμανση του. Σημαντική επίσης παράμετρος της συμπεριφοράς του κτηρίου αποδείχθηκε ότι είναι ο προσανατολισμός των υαλοπινάκων, καθώς αυτός καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτούς, αλλά και την χρονική περίοδο που αυτή μεγιστοποιείται. Έτσι, η τοποθέτηση υαλοπινάκων με μεγάλη επιφάνεια στην νότια όψη του κτιρίου, σε συνδυασμό με τη σκίαση τους κατά τους θερινούς μήνες προκύπτει ότι επιφέρει τα βέλτιστα αποτελέσματα. Ακόμα, η ψύξη του κτιρίου με αερισμό του κατά την περίοδο της νύκτας τους θερινούς μήνες βρέθηκε ότι έχει σημαντική επίδραση στην μείωση των ψυκτικών φορτίων του κτιρίου αν και η απόδοση της τεχνικής αυτής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον ρυθμό εναλλαγής αέρα και από την θερμοχωρητικότητα του κτηρίου. Για το λόγο αυτό, στο μελετώμενο κτήριο, στην περιοχή της Αθήνας βρέθηκε ότι ο αερισμός με φυσικό τρόπο, επιφέρει μείωση των ψυκτικών φορτίων, αλλά μπορεί η συμβολή του να πολλαπλασιαστεί αν γίνει με τη συμβολή μηχανικών μέσων.

Η χρήση όλων των μελετώμενων τεχνικών που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία για την μείωση των ψυκτικών και θερμικών φορτίων προέκυψε θετική. Ο βαθμός στον οποίο αυτές επηρεάζουν την τελική συμπεριφορά του κτιρίου επηρεάζεται άμεσα από τις ανάγκες και τις ιδιαιτερότητες κάθε περίπτωσης. Η χρήση μετεωρολογικών δεδομένων που βασίζονται στις μέσες τιμές για μια δεκαετία (1990 - 2000) και η δυνατότητα περιγραφής πολλών λεπτομερειών που αφορούν το κτήριο με τη χρήση του υπολογιστικού πακέτου TRNSYS, καθώς και η εγκυρότητα του προγράμματος, συμβάλλουν στην διαμόρφωση μιας ρεαλιστικής προσέγγισης των ενεργειακών αναγκών του θεωρητικού κτιρίου που μελετήθηκε. Φυσικό επακόλουθο της προσέγγισης αυτής είναι τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για το κτήριο αυτό να αφορούν τις παραμέτρους που αφορούν το δεδομένο κτήριο. Έτσι, η μείωση των ψυκτικών και θερμικών φορτίων που προέκυψαν από την εργασία είναι ενδεικτική και μπορεί να αποκλίνει σημαντικά σε άλλα κτήρια, καθότι η επίδρασή τους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που αφορούν κάθε κτήριο ξεχωριστά.

7 Βιβλιογραφία

1. **Αντωνόπουλος, Κίμων Α.** *Κλιματισμός, Μέρος Πρώτο*. Αθήνα : Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2004.
2. **Αντωνόπουλος, Κίμων Α.** *Θερμικά - Ηλιακά Συστήματα, Μέρος Πρώτο*. Αθήνα : Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2004.
3. **Τζιβανίδης, Χρήστος.** *Σημειώσεις Μαθήματος "Θερμική Συμπεριφορά Κτηρίων", Σχολή Μηχ.Μηχ. Ε.Μ.Π. Αθήνα, 2007.*
4. *Time Constant Of Greek Buildings.* **Antonopoulos, K A and Tzivanidis, C.**, pp 789-802, 1995, Elsevier Science Ltd, 1995, Τόμ. 20 .
5. **Antonopoulos, K. A and Valsamakis, P.** Effects of indoor and outdoor heat - transfer coefficients and solar absorbance on heat flow through walls . *Energy*. 1993, Τόμ. 18, 3.
6. **Antonopoulos, K. A. and Koronaki, E.** Envelope and indoor thermal capacitance of buildings. *Applied Thermal Engineering*. 1999, Τόμ. 19.
7. *ASHRAE Fundamentals*. 2005.
8. **Wang, Shan K.** *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*. New York : Mc Graw Hill, 2001.
9. **Torcellini, P., και συν.** *Lessons Learned from Case Studies of Six High-Performance Buildings*: NREL, June 2006. TP-550-37542.
10. Κεντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). *Οδηγός Ηλιακού Κλιματισμού & Οδηγός Θερμομόνωσης*. [Ηλεκτρονικό] http://www.cres.gr/energy-saving/technologies_exikonomisis_ener.htm.
11. *TRNSYS 16.00 Manual* : TRANSSOLAR Energietechnik GmbH.
12. Διπλωματική εργασία του φοιτητή Ανδρέα Ε. Φραγκιαδουλάκη *Στατιστική Επεξεργασία Θερμοκρασίας Περιβάλλοντος Και Σχετικής Υγρασίας Στην Αθήνα Για Την Περίοδο 1990-2000*, Φεβρουάριος 2005, επιβλέπων καθηγητής: Αντωνόπουλος, Κίμων Α., καθηγητής Ε.Μ.Π
13. Διπλωματική εργασία του φοιτητή Αραβαντινού – Καρλάτου Νικολάου *Στατιστική Επεξεργασία Της Ηλιακής Ακτινοβολίας (Ετών 1991-2000) Και Της Ταχύτητας Του Ανέμου (Ετών 1993-2000) Στην Περιοχή Της Αθήνας*, 2005 επιβλέπων καθηγητής: Αντωνόπουλος Κίμων, Α, καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

**ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΣΚΙΑΣΗΣ ΣΤΟ
ΝΟΤΙΟ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟ**

d=0m L=0,3m							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
1	13020,44	0,00	2840,12	1	0,00%	0,00%	0,00%
2	9902,35	0,00	3072,35	2	0,00%	0,00%	0,00%
3	7201,10	0,00	3408,88	3	0,00%	0,00%	0,00%
4	1516,44	13,77	3062,14	4	0,00%	0,00%	0,00%
5	25,35	2928,50	2729,17	5	0,00%	0,00%	0,00%
6	0,00	10532,64	2386,82	6	0,00%	0,00%	0,00%
7	0,00	15158,19	2529,34	7	0,00%	0,00%	0,00%
8	0,00	15360,36	3009,93	8	0,00%	0,00%	0,00%
9	0,00	6483,43	3639,80	9	0,00%	0,00%	0,00%
10	212,71	1454,05	3699,66	10	0,00%	0,00%	0,00%
11	3834,96	0,00	2704,81	11	0,00%	0,00%	0,00%
12	10005,18	0,00	2323,43	12	0,00%	0,00%	0,00%
Ετησίως(GJ):	45,72	51,93	35,41	Ετησίως	0,00%	0,00%	0,00%

d=0m L=0,6m							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
1	13186,35	0,00	2520,12	1	1,27%	0,00%	-11,27%
2	10101,48	0,00	2654,72	2	2,01%	0,00%	-13,59%
3	7420,84	0,00	2824,98	3	3,05%	0,00%	-17,13%
4	1585,27	5,28	2462,95	4	4,54%	-61,67%	-19,57%
5	25,81	2818,25	2433,58	5	0,00%	-3,76%	-10,83%
6	0,00	10459,66	2248,99	6	0,00%	-0,69%	-5,77%
7	0,00	15054,11	2330,67	7	0,00%	-0,69%	-7,85%
8	0,00	15049,20	2428,17	8	0,00%	-2,03%	-19,33%
9	0,00	6113,67	2864,67	9	0,00%	-5,70%	-21,30%
10	217,39	1273,85	3112,64	10	2,20%	-12,39%	-15,87%
11	3901,13	0,00	2372,89	11	1,73%	0,00%	-12,27%
12	10131,41	0,00	2069,46	12	1,26%	0,00%	-10,93%
Ετησίως(GJ):	46,57	50,77	30,32	Ετησίως	1,86%	-2,23%	-14,35%

d=0m L=0,9m							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
1	13330,11	0,00	2243,28	1	2,38%	0,00%	-21,01%
2	10278,79	0,00	2289,61	2	3,80%	0,00%	-25,48%
3	7623,69	0,00	2331,55	3	5,87%	0,00%	-31,60%
4	1618,78	3,46	2263,26	4	6,75%	-74,87%	-26,09%
5	25,96	2773,21	2317,97	5	0,00%	-5,30%	-15,07%
6	0,00	10413,06	2161,55	6	0,00%	-1,14%	-9,44%
7	0,00	15005,63	2239,99	7	0,00%	-1,01%	-11,44%
8	0,00	14985,16	2314,15	8	0,00%	-2,44%	-23,12%
9	0,00	5861,73	2327,44	9	0,00%	-9,59%	-36,06%
10	222,62	1120,69	2592,55	10	4,66%	-22,93%	-29,92%
11	3959,57	0,00	2085,65	11	3,25%	0,00%	-22,89%
12	10239,95	0,00	1853,04	12	2,35%	0,00%	-20,25%
Ετησίως(GJ):	47,30	50,16	27,02	Ετησίως	3,46%	-3,40%	-23,69%

d=0m L=1,2m							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
1	13457,76	0,00	1997,86	1	3,36%	0,00%	-29,66%
2	10439,42	0,00	1964,12	2	5,42%	0,00%	-36,07%
3	7747,53	0,00	2063,76	3	7,59%	0,00%	-39,46%
4	1629,91	2,44	2178,86	4	7,48%	-82,27%	-28,85%
5	26,06	2742,11	2237,45	5	0,00%	-6,36%	-18,02%
6	0,00	10380,62	2100,65	6	0,00%	-1,44%	-11,99%
7	0,00	14971,88	2176,84	7	0,00%	-1,23%	-13,94%
8	0,00	14947,15	2246,01	8	0,00%	-2,69%	-25,38%
9	0,00	5803,07	2189,32	9	0,00%	-10,49%	-39,85%
10	228,26	1002,12	2142,14	10	7,31%	-31,08%	-42,10%
11	4012,03	0,00	1831,16	11	4,62%	0,00%	-32,30%
12	10335,86	0,00	1663,47	12	3,31%	0,00%	-28,40%
Ετησίως(GJ):	47,88	49,85	24,79	Ετησίως	4,72%	-4,01%	-29,98%

d=0m L=1,5m							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
1	13573,54	0,00	1775,58	1	4,25%	0,00%	-37,48%
2	10569,46	0,00	1701,73	2	6,74%	0,00%	-44,61%
3	7783,00	0,00	1982,24	3	8,08%	0,00%	-41,85%
4	1637,82	1,81	2119,03	4	8,00%	-86,87%	-30,80%
5	26,13	2720,31	2180,38	5	0,00%	-7,11%	-20,11%
6	0,00	10357,62	2057,49	6	0,00%	-1,66%	-13,80%
7	0,00	14947,95	2132,07	7	0,00%	-1,39%	-15,71%
8	0,00	14920,23	2197,70	8	0,00%	-2,87%	-26,98%
9	0,00	5779,07	2138,98	9	0,00%	-10,86%	-41,23%
10	233,74	968,60	1907,60	10	9,89%	-33,39%	-48,44%
11	4060,10	0,00	1600,96	11	5,87%	0,00%	-40,81%
12	10422,63	0,00	1493,16	12	4,17%	0,00%	-35,73%
Ετησίως(GJ):	48,31	49,70	23,29	Ετησίως	5,66%	-4,30%	-34,23%

d=0,2m L=0,3m							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
1	12866,86	0,00	3136,21	1	-1,18%	0,00%	10,43%
2	9732,94	0,00	3435,11	2	-1,71%	0,00%	11,81%
3	7061,59	0,00	3798,97	3	-1,94%	0,00%	11,44%
4	1483,21	21,81	3375,98	4	-2,19%	58,37%	10,25%
5	25,08	3020,67	2956,76	5	0,00%	3,15%	8,34%
6	0,00	10613,36	2542,03	6	0,00%	0,77%	6,50%
7	0,00	15259,28	2722,11	7	0,00%	0,67%	7,62%
8	0,00	15527,97	3320,75	8	0,00%	1,09%	10,33%
9	0,00	6691,52	4076,16	9	0,00%	3,21%	11,99%
10	209,16	1595,87	4162,08	10	-1,67%	9,75%	12,50%
11	3778,67	0,00	3009,68	11	-1,47%	0,00%	11,27%
12	9890,34	0,00	2553,72	12	-1,15%	0,00%	9,91%
Ετησίως(GJ):	45,05	52,73	39,09	Ετησίως	-1,47%	1,54%	10,40%

d=0,2m L=0,6m							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
1	13000,78	0,00	2878,13	1	-0,15%	0,00%	1,34%
2	9917,95	0,00	3040,59	2	0,16%	0,00%	-1,03%
3	7264,00	0,00	3231,39	3	0,87%	0,00%	-5,21%
4	1546,78	8,64	2754,63	4	2,00%	-37,27%	-10,04%
5	25,62	2878,04	2586,25	5	0,00%	-1,72%	-5,24%
6	0,00	10520,23	2363,16	6	0,00%	-0,12%	-0,99%
7	0,00	15118,79	2452,08	7	0,00%	-0,26%	-3,05%
8	0,00	15169,18	2646,35	8	0,00%	-1,24%	-12,08%
9	0,00	6326,97	3313,67	9	0,00%	-2,41%	-8,96%
10	212,97	1410,93	3591,81	10	0,12%	-2,97%	-2,92%
11	3832,26	0,00	2714,69	11	-0,07%	0,00%	0,37%
12	9985,88	0,00	2360,44	12	-0,19%	0,00%	1,59%
Ετησίως(GJ):	45,79	51,43	33,93	Ετησίως	0,15%	-0,96%	-4,16%

d=0,2m L=0,9m							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
1	13144,75	0,00	2601,20	1	0,95%	0,00%	-8,41%
2	10093,29	0,00	2673,80	2	1,93%	0,00%	-12,97%
3	7461,27	0,00	2722,23	3	3,61%	0,00%	-20,14%
4	1594,98	5,90	2436,73	4	5,18%	-57,19%	-20,42%
5	25,77	2830,95	2466,67	5	0,00%	-3,33%	-9,62%
6	0,00	10472,05	2272,72	6	0,00%	-0,58%	-4,78%
7	0,00	15068,65	2358,29	7	0,00%	-0,59%	-6,76%
8	0,00	15064,70	2457,30	8	0,00%	-1,92%	-18,36%
9	0,00	6019,10	2665,40	9	0,00%	-7,16%	-26,77%
10	217,07	1250,37	3068,16	10	2,05%	-14,01%	-17,07%
11	3887,93	0,00	2425,46	11	1,38%	0,00%	-10,33%
12	10094,27	0,00	2143,29	12	0,89%	0,00%	-7,75%
Ετησίως(GJ):	46,52	50,71	30,29	Ετησίως	1,75%	-2,35%	-14,45%

d=0,2m L=1,2m							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
1	13274,84	0,00	2351,18	1	1,95%	0,00%	-17,22%
2	10254,47	0,00	2341,81	2	3,56%	0,00%	-23,78%
3	7624,96	0,00	2343,42	3	5,89%	0,00%	-31,26%
4	1607,94	4,40	2340,53	4	6,03%	-68,05%	-23,57%
5	25,88	2796,15	2377,70	5	0,00%	-4,52%	-12,88%
6	0,00	10436,21	2205,43	6	0,00%	-0,92%	-7,60%
7	0,00	15031,36	2288,51	7	0,00%	-0,84%	-9,52%
8	0,00	15022,70	2382,00	8	0,00%	-2,20%	-20,86%
9	0,00	5887,13	2370,19	9	0,00%	-9,20%	-34,88%
10	221,59	1110,95	2592,47	10	4,17%	-23,60%	-29,93%
11	3939,40	0,00	2165,14	11	2,72%	0,00%	-19,95%
12	10192,23	0,00	1948,61	12	1,87%	0,00%	-16,13%
Ετησίως(GJ):	47,14	50,29	27,71	Ετησίως	3,11%	-3,16%	-21,75%

d=0,2m L=1,5m							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
1	13393,67	0,00	2123,01	1	2,87%	0,00%	-25,25%
2	10403,29	0,00	2040,04	2	5,06%	0,00%	-33,60%
3	7705,50	0,00	2166,73	3	7,00%	0,00%	-36,44%
4	1616,83	3,40	2271,45	4	6,62%	-75,32%	-25,82%
5	25,96	2770,47	2311,80	5	0,00%	-5,40%	-15,29%
6	0,00	10409,66	2155,59	6	0,00%	-1,17%	-9,69%
7	0,00	15003,75	2236,82	7	0,00%	-1,02%	-11,57%
8	0,00	14991,59	2326,22	8	0,00%	-2,40%	-22,71%
9	0,00	5858,05	2303,59	9	0,00%	-9,65%	-36,71%
10	226,52	1023,74	2217,81	10	6,49%	-29,59%	-40,05%
11	3987,01	0,00	1928,64	11	3,96%	0,00%	-28,70%
12	10281,16	0,00	1772,89	12	2,76%	0,00%	-23,70%
Ετησίως(GJ):	47,64	50,06	25,85	Ετησίως	4,20%	-3,60%	-26,98%

d=0,4m L=0,3m							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
1	12848,18	0,00	3172,53	1	-1,32%	0,00%	11,70%
2	9698,83	0,00	3508,67	2	-2,06%	0,00%	14,20%
3	6987,87	0,00	4021,61	3	-2,96%	0,00%	17,97%
4	1460,40	29,76	3608,22	4	-3,70%	116,08%	17,83%
5	24,90	3085,64	3114,45	5	0,00%	5,37%	14,12%
6	0,00	10669,40	2651,41	6	0,00%	1,30%	11,09%
7	0,00	15332,41	2862,75	7	0,00%	1,15%	13,18%
8	0,00	15659,22	3566,31	8	0,00%	1,95%	18,49%
9	0,00	6853,36	4411,18	9	0,00%	5,71%	21,19%
10	208,51	1655,82	4314,56	10	-1,98%	13,88%	16,62%
11	3769,75	0,00	3050,08	11	-1,70%	0,00%	12,77%
12	9874,57	0,00	2586,85	12	-1,31%	0,00%	11,34%
Ετησίως(GJ):	44,87	53,29	40,87	Ετησίως	-1,85%	2,61%	15,43%

d=0,4m L=0,6m							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
1	12890,18	0,00	3090,81	1	-1,00%	0,00%	8,83%
2	9771,06	0,00	3353,40	2	-1,33%	0,00%	9,15%
3	7138,38	0,00	3573,74	3	-0,87%	0,00%	4,84%
4	1516,27	12,45	3015,84	4	-0,01%	-9,59%	-1,51%
5	25,44	2920,44	2697,27	5	0,00%	-0,28%	-1,17%
6	0,00	10559,89	2438,10	6	0,00%	0,26%	2,15%
7	0,00	15161,72	2532,80	7	0,00%	0,02%	0,14%
8	0,00	15288,13	2866,14	8	0,00%	-0,47%	-4,78%
9	0,00	6513,82	3707,39	9	0,00%	0,47%	1,86%
10	209,88	1536,38	4005,39	10	-1,33%	5,66%	8,26%
11	3789,83	0,00	2960,13	11	-1,18%	0,00%	9,44%
12	9910,02	0,00	2512,29	12	-0,95%	0,00%	8,13%
Ετησίως(GJ):	45,25	51,99	36,75	Ετησίως	-1,02%	0,12%	3,80%

d=0,4m L=0,9m							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
1	12986,66	0,00	2904,53	1	-0,26%	0,00%	2,27%
2	9932,43	0,00	3010,51	2	0,30%	0,00%	-2,01%
3	7321,36	0,00	3076,55	3	1,67%	0,00%	-9,75%
4	1568,74	7,97	2604,66	4	3,45%	-42,16%	-14,94%
5	25,63	2874,79	2578,79	5	0,00%	-1,83%	-5,51%
6	0,00	10516,27	2356,22	6	0,00%	-0,16%	-1,28%
7	0,00	15116,31	2447,89	7	0,00%	-0,28%	-3,22%
8	0,00	15127,12	2569,80	8	0,00%	-1,52%	-14,62%
9	0,00	6193,94	3034,53	9	0,00%	-4,47%	-16,63%
10	213,24	1372,79	3496,33	10	0,25%	-5,59%	-5,50%
11	3830,32	0,00	2722,02	11	-0,12%	0,00%	0,64%
12	9971,02	0,00	2388,49	12	-0,34%	0,00%	2,80%
Ετησίως(GJ):	45,85	51,21	33,19	Ετησίως	0,29%	-1,39%	-6,26%

d=0,4m L=1,2m							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
1	13112,35	0,00	2663,46	1	0,71%	0,00%	-6,22%
2	10090,27	0,00	2681,32	2	1,90%	0,00%	-12,73%
3	7497,43	0,00	2638,27	3	4,12%	0,00%	-22,61%
4	1590,30	6,36	2473,47	4	4,87%	-53,85%	-19,22%
5	25,74	2840,01	2490,60	5	0,00%	-3,02%	-8,74%
6	0,00	10480,74	2289,52	6	0,00%	-0,49%	-4,08%
7	0,00	15079,31	2378,72	7	0,00%	-0,52%	-5,95%
8	0,00	15085,31	2494,84	8	0,00%	-1,79%	-17,11%
9	0,00	5987,25	2591,70	9	0,00%	-7,65%	-28,80%
10	216,87	1227,64	3021,71	10	1,96%	-15,57%	-18,32%
11	3877,93	0,00	2465,63	11	1,12%	0,00%	-8,84%
12	10064,40	0,00	2202,34	12	0,59%	0,00%	-5,21%
Ετησίως(GJ):	46,48	50,71	30,39	Ετησίως	1,66%	-2,36%	-14,16%

d=0,4m L=1,5m							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
1	13231,43	0,00	2434,93	1	1,62%	0,00%	-14,27%
2	10237,60	0,00	2378,12	2	3,39%	0,00%	-22,60%
3	7616,57	0,00	2373,37	3	5,77%	0,00%	-30,38%
4	1599,37	5,15	2401,06	4	5,47%	-62,60%	-21,59%
5	25,82	2812,91	2421,53	5	0,00%	-3,95%	-11,27%
6	0,00	10452,93	2237,28	6	0,00%	-0,76%	-6,27%
7	0,00	15050,38	2324,54	7	0,00%	-0,71%	-8,10%
8	0,00	15052,71	2436,38	8	0,00%	-2,00%	-19,06%
9	0,00	5927,63	2448,61	9	0,00%	-8,57%	-32,73%
10	220,82	1102,90	2587,08	10	3,81%	-24,15%	-30,07%
11	3923,95	0,00	2227,40	11	2,32%	0,00%	-17,65%
12	10152,92	0,00	2026,86	12	1,48%	0,00%	-12,76%
Ετησίως(GJ):	47,01	50,40	28,30	Ετησίως	2,82%	-2,94%	-20,08%

d=0,6m L=0,3m							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
1	12839,75	0,00	3188,94	1	-1,39%	0,00%	12,28%
2	9690,27	0,00	3526,73	2	-2,14%	0,00%	14,79%
3	6979,19	0,00	4050,72	3	-3,08%	0,00%	18,83%
4	1448,91	37,16	3764,88	4	-4,45%	169,79%	22,95%
5	24,75	3139,29	3243,93	5	0,00%	7,20%	18,86%
6	0,00	10715,65	2742,61	6	0,00%	1,74%	14,91%
7	0,00	15395,47	2984,53	7	0,00%	1,57%	18,00%
8	0,00	15770,41	3776,28	8	0,00%	2,67%	25,46%
9	0,00	6892,87	4491,08	9	0,00%	6,32%	23,39%
10	208,35	1662,30	4335,39	10	-2,05%	14,32%	17,18%
11	3765,81	0,00	3066,80	11	-1,80%	0,00%	13,38%
12	9867,43	0,00	2601,85	12	-1,38%	0,00%	11,98%
Ετησίως(GJ):	44,82	53,61	41,77	Ετησίως	-1,96%	3,24%	17,98%

d=0,6m L=0,6m							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
1	12870,31	0,00	3129,45	1	-1,15%	0,00%	10,19%
2	9721,33	0,00	3461,28	2	-1,83%	0,00%	12,66%
3	7038,63	0,00	3856,48	3	-2,26%	0,00%	13,13%
4	1491,57	16,84	3243,46	4	-1,64%	22,24%	5,92%
5	25,27	2955,39	2794,52	5	-0,32%	0,92%	2,39%
6	0,00	10585,89	2487,44	6	0,00%	0,51%	4,22%
7	0,00	15191,76	2589,85	7	0,00%	0,22%	2,39%
8	0,00	15406,81	3088,28	8	0,00%	0,30%	2,60%
9	0,00	6682,10	4061,18	9	0,00%	3,06%	11,58%
10	208,93	1632,48	4250,47	10	-1,78%	12,27%	14,89%
11	3780,17	0,00	3006,21	11	-1,43%	0,00%	11,14%
12	9893,28	0,00	2547,50	12	-1,12%	0,00%	9,64%
Ετησίως(GJ):	45,03	52,47	38,52	Ετησίως	-1,51%	1,04%	8,78%

d=0,6m L=0,9m							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
1	12903,74	0,00	3064,39	1	-0,90%	0,00%	7,90%
2	9798,42	0,00	3294,45	2	-1,05%	0,00%	7,23%
3	7202,38	0,00	3391,93	3	0,02%	0,00%	-0,50%
4	1542,99	9,71	2778,65	4	1,75%	-29,49%	-9,26%
5	25,53	2907,92	2662,71	5	0,68%	-0,70%	-2,44%
6	0,00	10549,13	2418,40	6	0,00%	0,16%	1,32%
7	0,00	15152,15	2515,38	7	0,00%	-0,04%	-0,55%
8	0,00	15189,42	2681,06	8	0,00%	-1,11%	-10,93%
9	0,00	6366,74	3399,19	9	0,00%	-1,80%	-6,61%
10	210,41	1488,13	3880,11	10	-1,08%	2,34%	4,88%
11	3796,41	0,00	2930,03	11	-1,01%	0,00%	8,33%
12	9921,44	0,00	2488,21	12	-0,84%	0,00%	7,09%
Ετησίως(GJ):	45,40	51,66	35,50	Ετησίως	-0,69%	-0,52%	0,28%

d=0,6m L=1,2m							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
1	12975,21	0,00	2925,67	1	-0,35%	0,00%	3,01%
2	9943,71	0,00	2987,18	2	0,42%	0,00%	-2,77%
3	7371,17	0,00	2947,16	3	2,36%	0,00%	-13,54%
4	1575,91	8,08	2583,14	4	3,92%	-41,37%	-15,64%
5	25,63	2875,43	2581,16	5	1,08%	-1,81%	-5,42%
6	0,00	10516,28	2356,73	6	0,00%	-0,16%	-1,26%
7	0,00	15117,95	2451,42	7	0,00%	-0,27%	-3,08%
8	0,00	15137,33	2588,74	8	0,00%	-1,45%	-13,99%
9	0,00	6109,65	2856,33	9	0,00%	-5,77%	-21,52%
10	213,44	1340,30	3416,24	10	0,34%	-7,82%	-7,66%
11	3828,16	0,00	2730,03	11	-0,18%	0,00%	0,93%
12	9960,04	0,00	2409,22	12	-0,45%	0,00%	3,69%
Ετησίως(GJ):	45,89	51,11	32,83	Ετησίως	0,38%	-1,59%	-7,27%

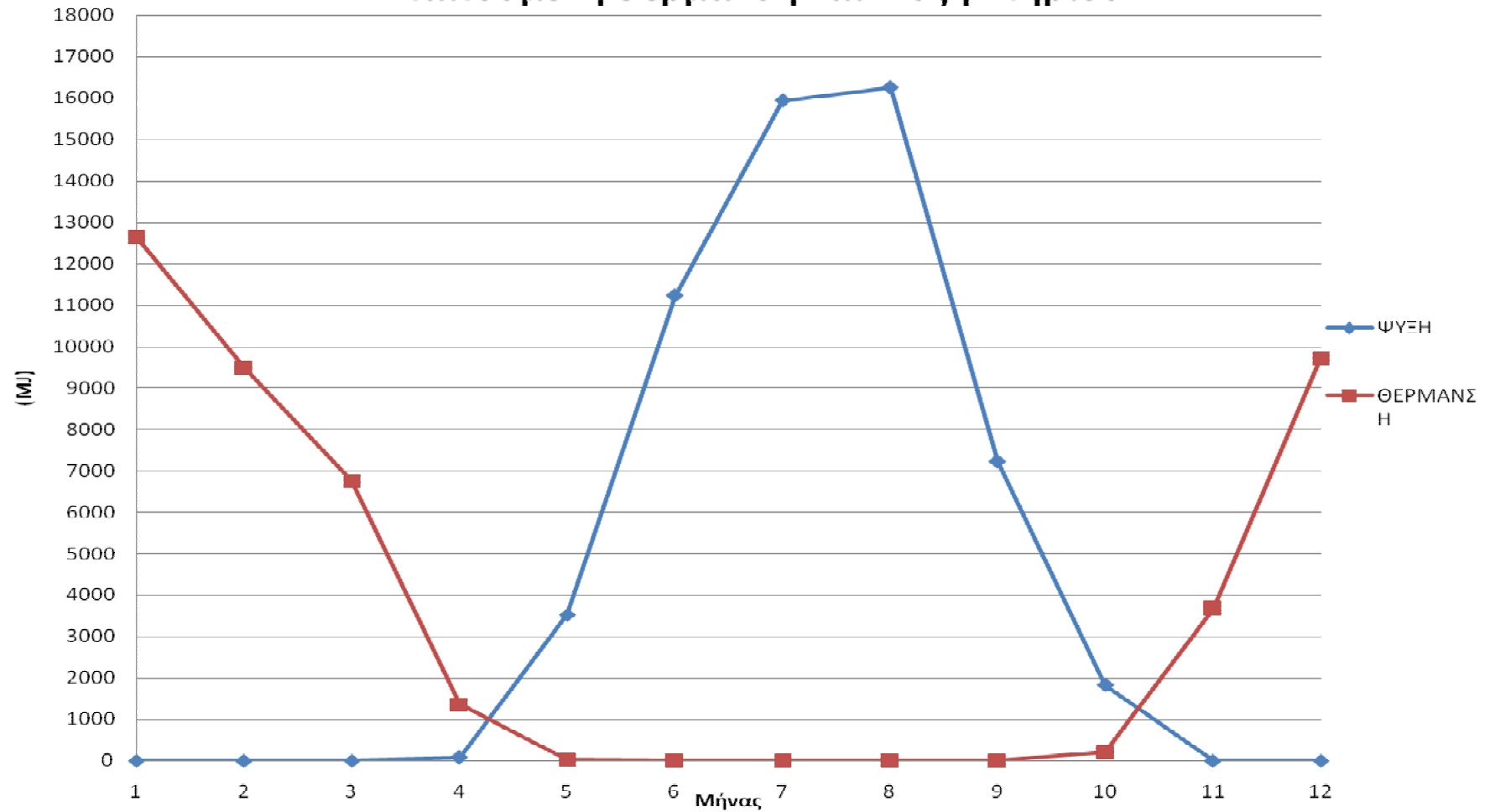
d=0,6m L=1,5m							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
1	13085,67	0,00	2714,37	1	0,50%	0,00%	-4,43%
2	10088,08	0,00	2686,66	2	1,88%	0,00%	-12,55%
3	7516,11	0,00	2606,60	3	4,37%	0,00%	-23,53%
4	1584,73	6,80	2511,79	4	4,50%	-50,64%	-17,97%
5	25,71	2848,65	2513,34	5	1,40%	-2,73%	-7,91%
6	0,00	10488,97	2305,43	6	0,00%	-0,41%	-3,41%
7	0,00	15089,51	2398,22	7	0,00%	-0,45%	-5,18%
8	0,00	15105,32	2531,34	8	0,00%	-1,66%	-15,90%
9	0,00	5993,79	2595,95	9	0,00%	-7,55%	-28,68%
10	216,73	1207,61	2980,26	10	1,89%	-16,95%	-19,44%
11	3869,58	0,00	2500,05	11	0,90%	0,00%	-7,57%
12	10039,42	0,00	2251,54	12	0,34%	0,00%	-3,09%
Ετησίως(GJ):	46,43	50,74	30,60	Ετησίως	1,55%	-2,29%	-13,59%

d=0,6m L=1,2m							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
1	12975,21	0,00	2925,67	1	-0,35%	0,00%	3,01%
2	9943,71	0,00	2987,18	2	0,42%	0,00%	-2,77%
3	7371,17	0,00	2947,16	3	2,36%	0,00%	-13,54%
4	1575,91	8,08	2583,14	4	3,92%	-41,37%	-15,64%
5	25,63	2875,43	2581,16	5	1,08%	-1,81%	-5,42%
6	0,00	10516,28	2356,73	6	0,00%	-0,16%	-1,26%
7	0,00	15117,95	2451,42	7	0,00%	-0,27%	-3,08%
8	0,00	15137,33	2588,74	8	0,00%	-1,45%	-13,99%
9	0,00	6109,65	2856,33	9	0,00%	-5,77%	-21,52%
10	213,44	1340,30	3416,24	10	0,34%	-7,82%	-7,66%
11	3828,16	0,00	2730,03	11	-0,18%	0,00%	0,93%
12	9960,04	0,00	2409,22	12	-0,45%	0,00%	3,69%
Ετησίως(GJ):	45,89	51,11	32,83	Ετησίως	0,38%	-1,59%	-7,27%

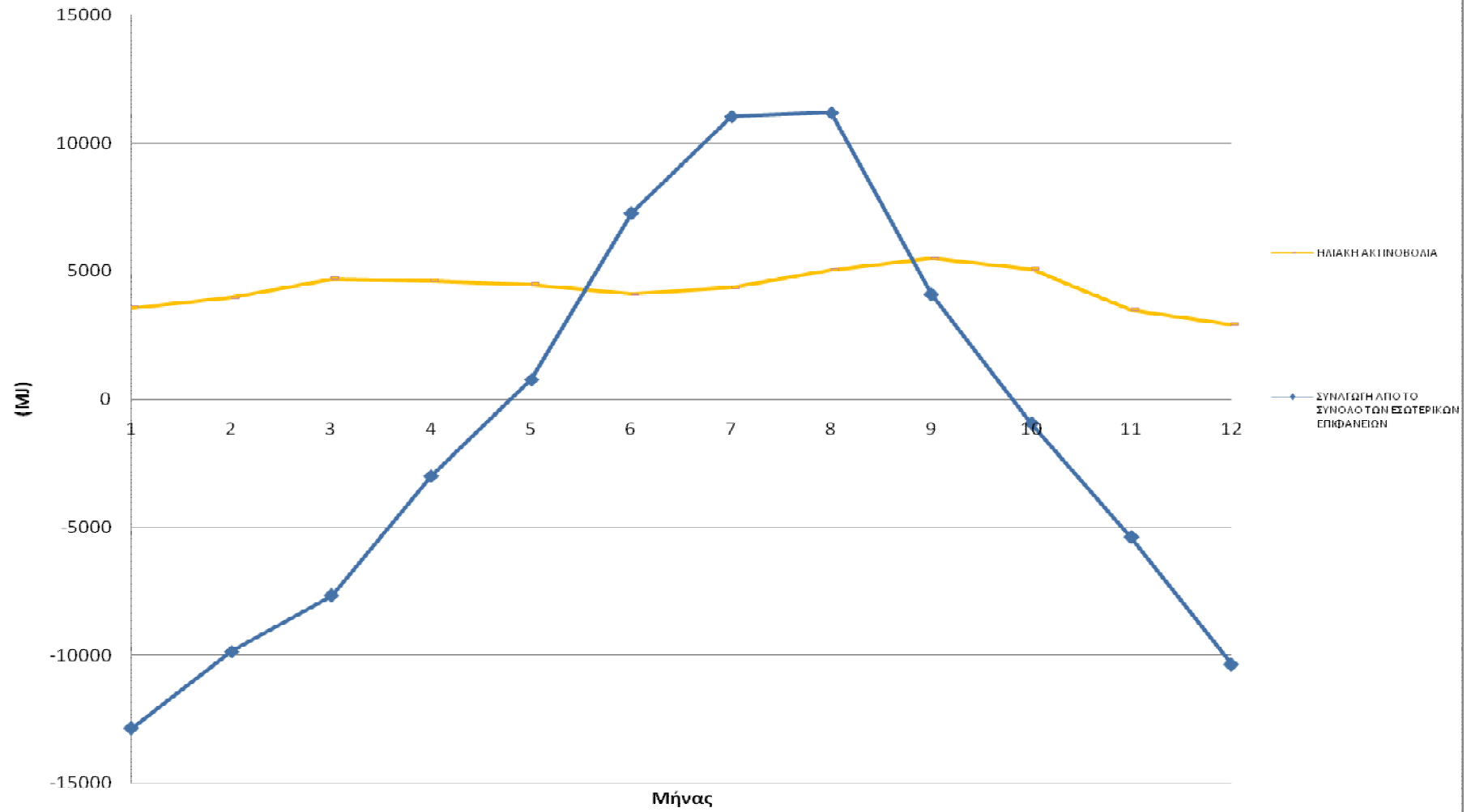
d=0,6m L=1,5m							
ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ	ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ
	(MJ)	(MJ)	(MJ)				
1	13085,67	0,00	2714,37	1	0,50%	0,00%	-4,43%
2	10088,08	0,00	2686,66	2	1,88%	0,00%	-12,55%
3	7516,11	0,00	2606,60	3	4,37%	0,00%	-23,53%
4	1584,73	6,80	2511,79	4	4,50%	-50,64%	-17,97%
5	25,71	2848,65	2513,34	5	1,40%	-2,73%	-7,91%
6	0,00	10488,97	2305,43	6	0,00%	-0,41%	-3,41%
7	0,00	15089,51	2398,22	7	0,00%	-0,45%	-5,18%
8	0,00	15105,32	2531,34	8	0,00%	-1,66%	-15,90%
9	0,00	5993,79	2595,95	9	0,00%	-7,55%	-28,68%
10	216,73	1207,61	2980,26	10	1,89%	-16,95%	-19,44%
11	3869,58	0,00	2500,05	11	0,90%	0,00%	-7,57%
12	10039,42	0,00	2251,54	12	0,34%	0,00%	-3,09%
Ετησίως(GJ):	46,43	50,74	30,60	Ετησίως	1,55%	-2,29%	-13,59%

1. Α. ΦΟΡΤΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟ EXCEL

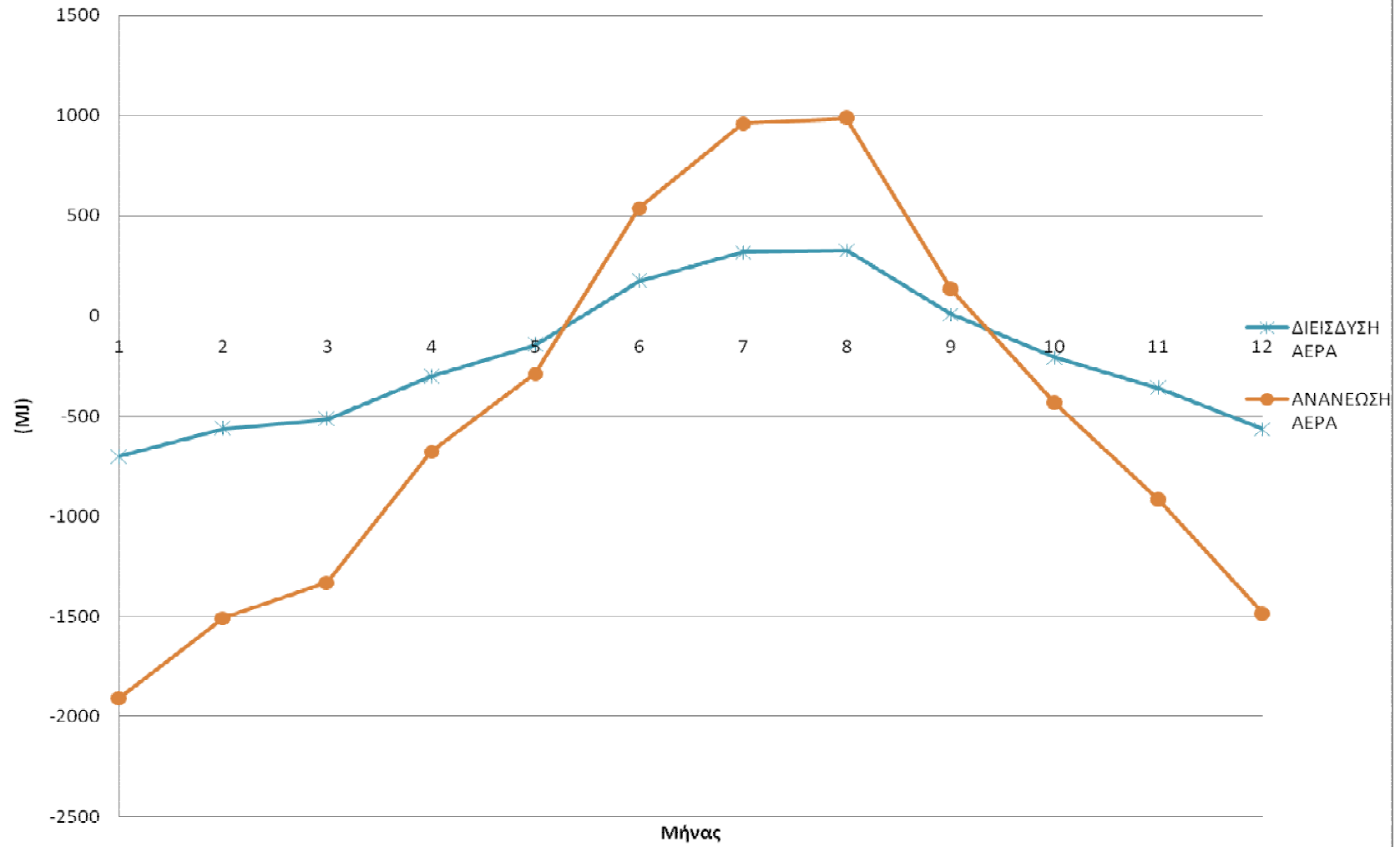
Απαιτούμενη Θέρμανση και Ψύξη Κτηρίου

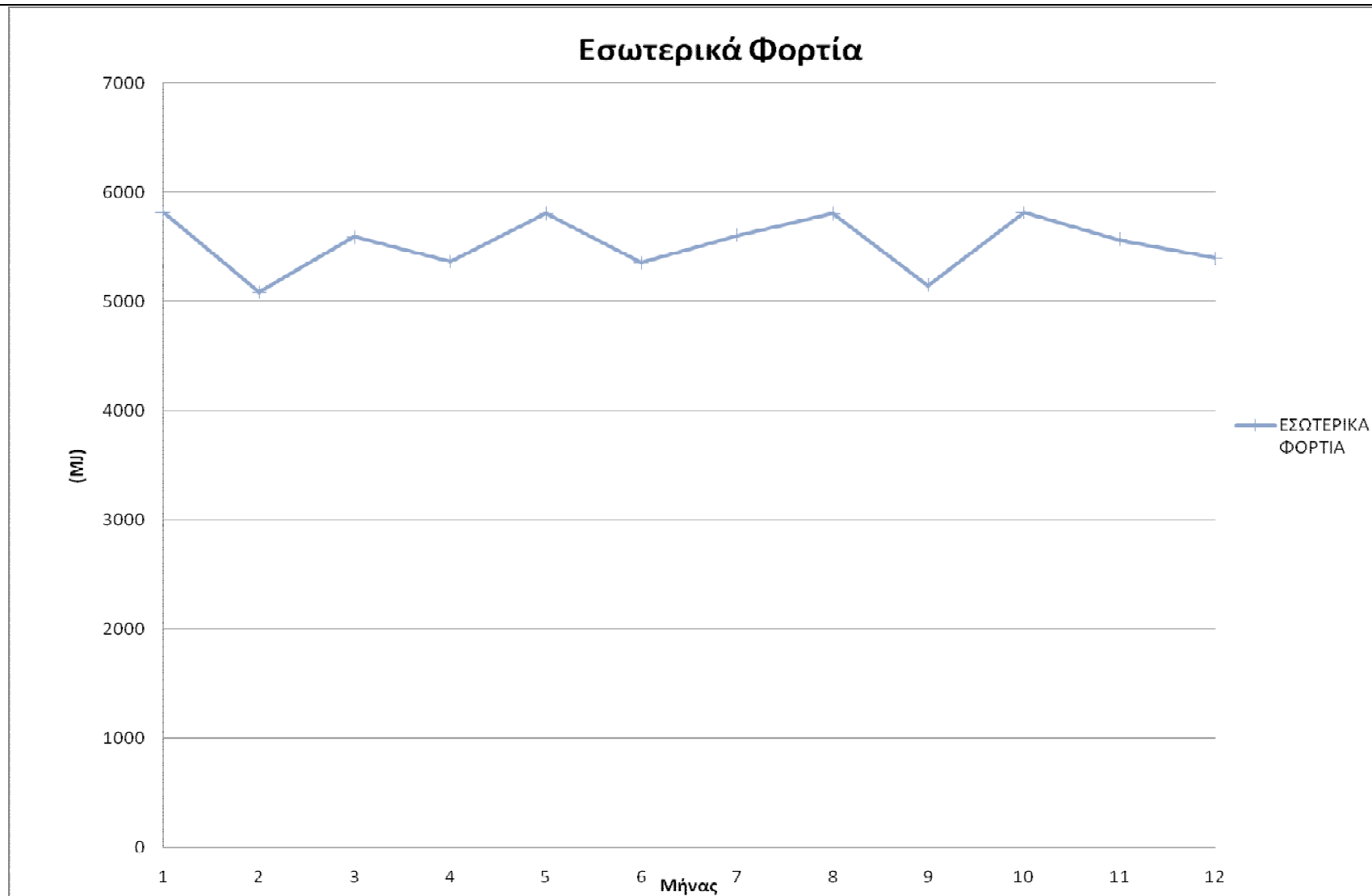


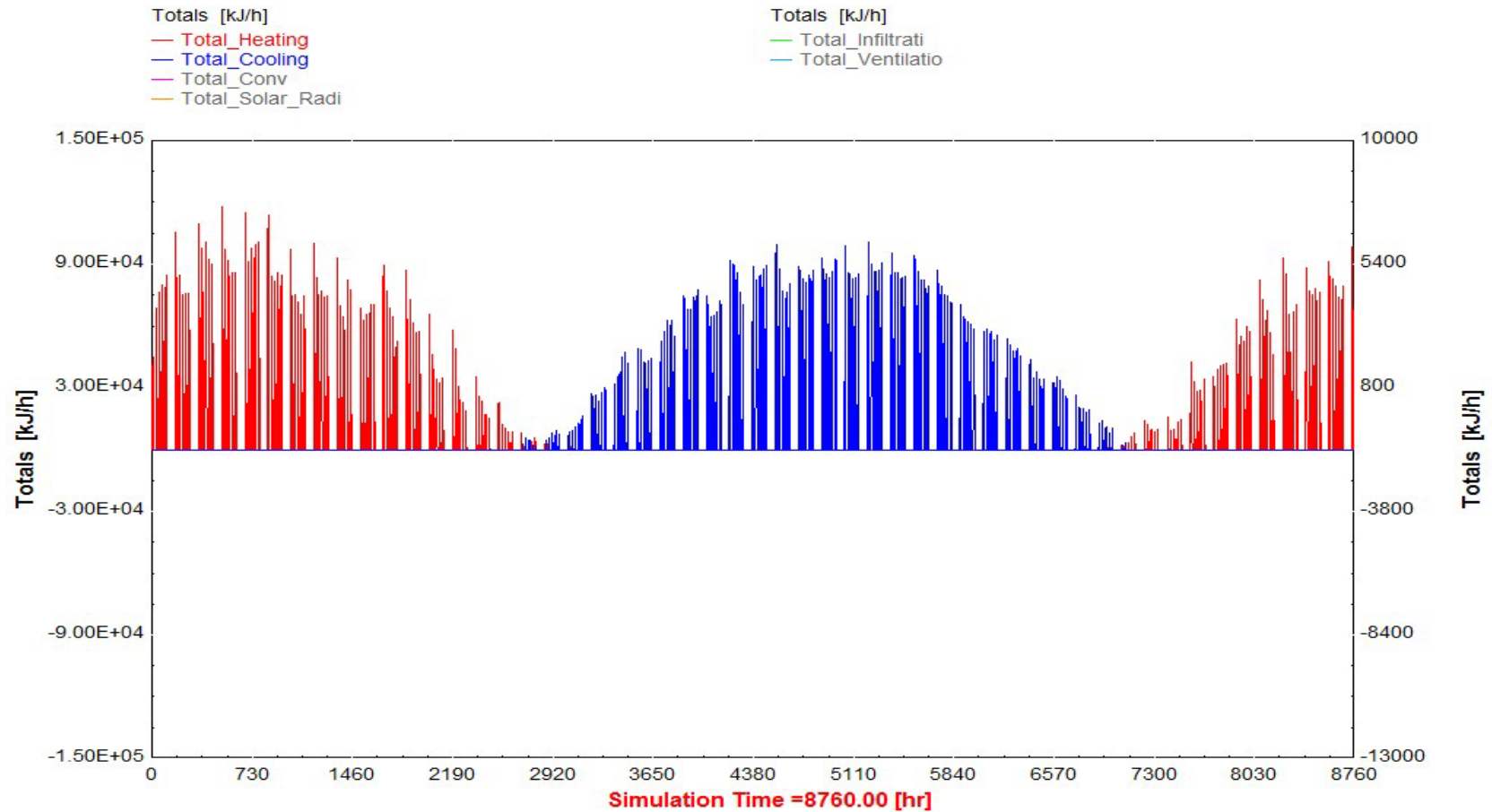
Εισερχόμενη Ακτινοβολία και Συναγωγή από το σύνολο των εσωτερικών επιφανειών του ορόφου



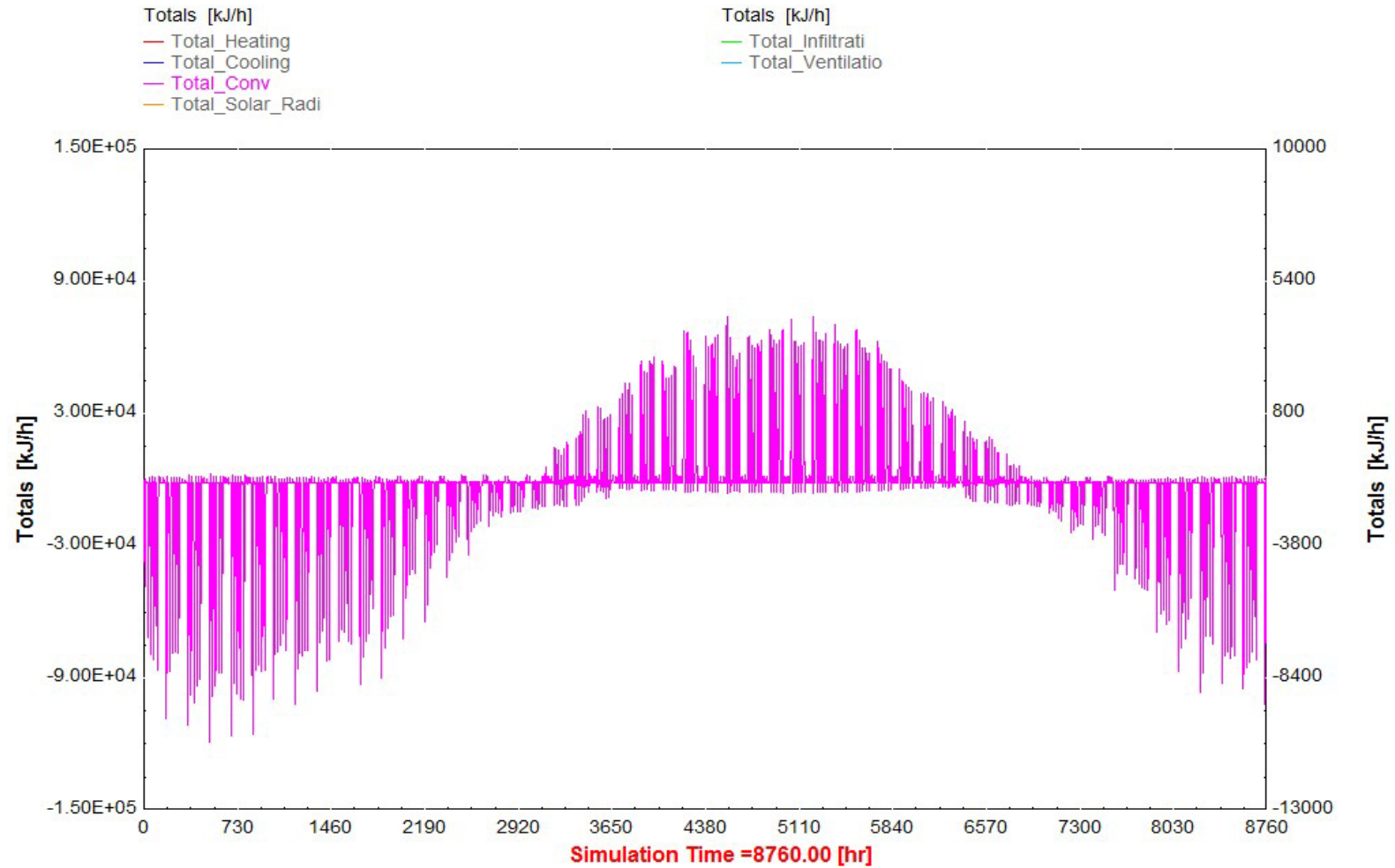
Φορτία Ανανέωσης και Διείσδυσης αέρα



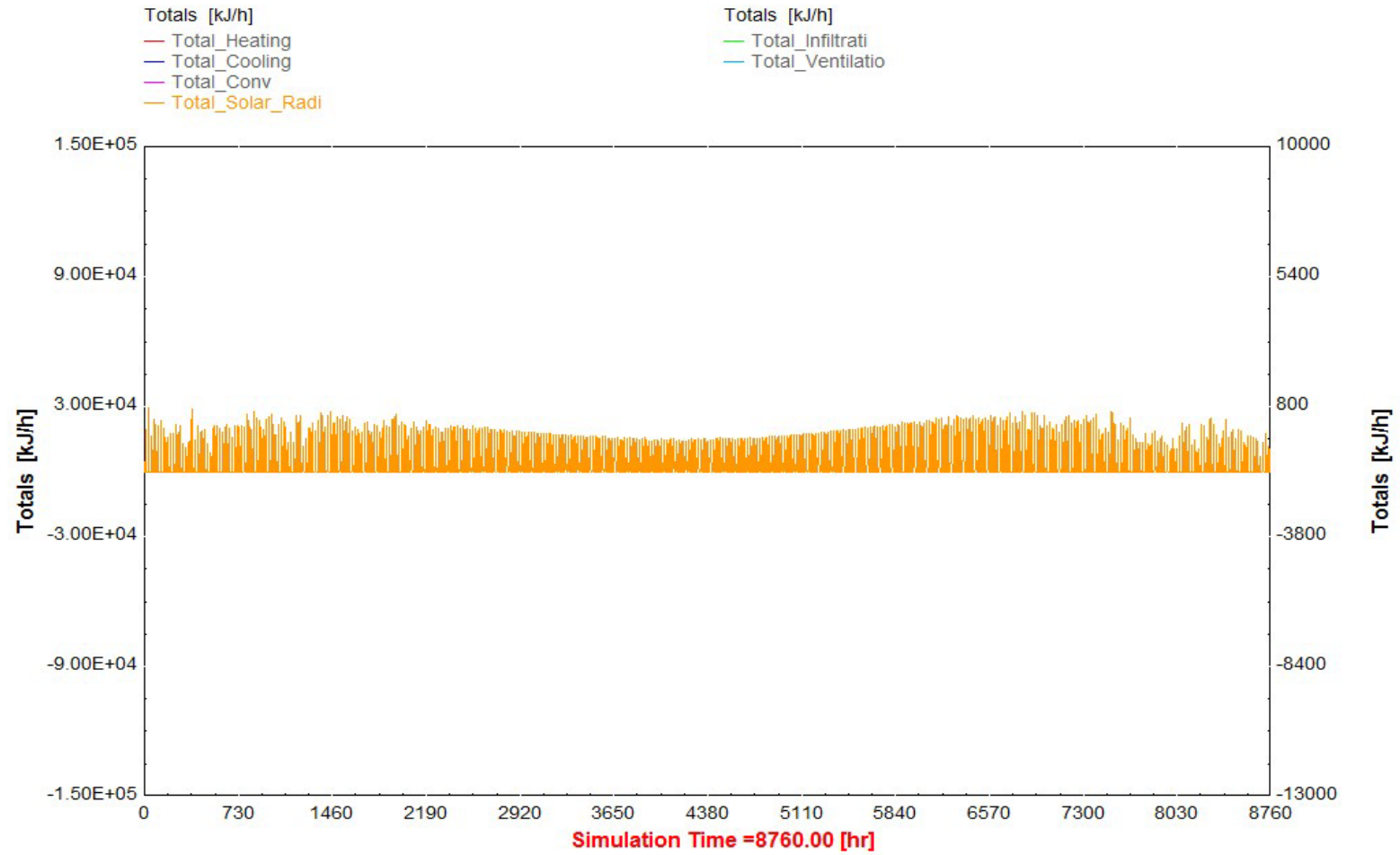


Β. ΜΕΓΕΘΗ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΚΤΗΡΙΟ ΟΠΩΣ ΕΚΤΥΠΩΝΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ TRNSYS**ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΨΥΞΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΟΡΟΦΟ**

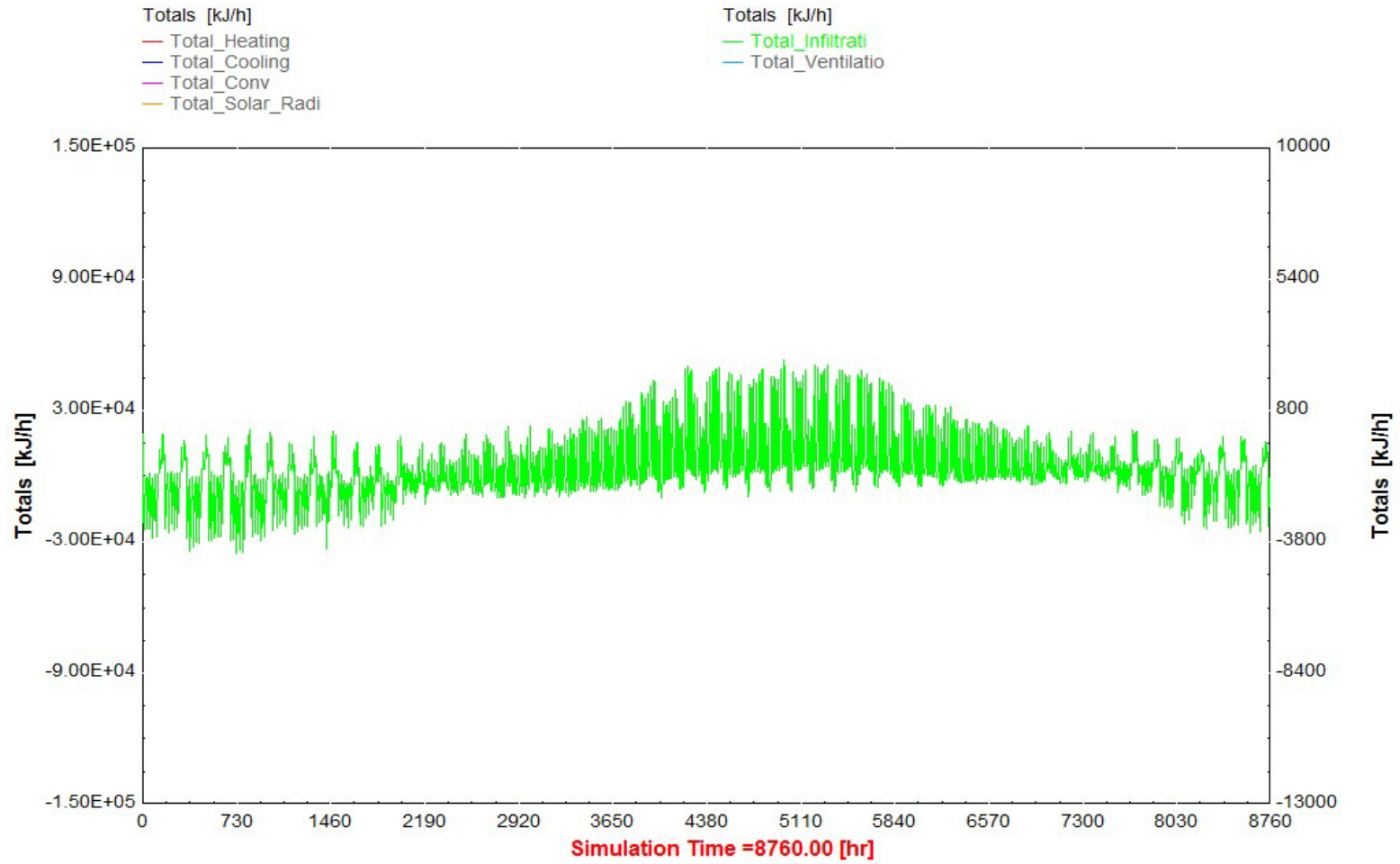
ΣΥΝΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΤΟΥ ΟΡΟΦΟΥ



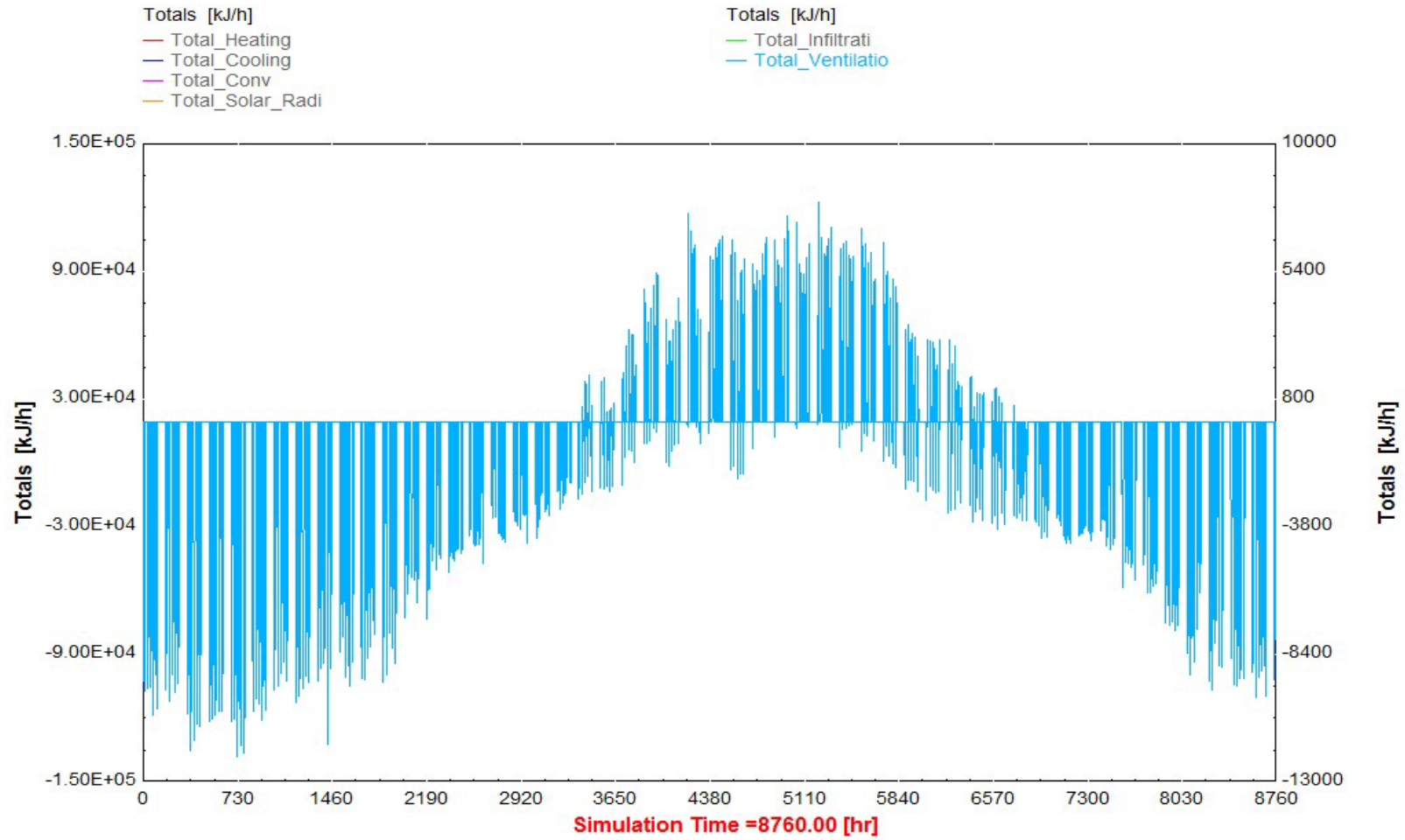
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ ΤΟΥ ΟΡΟΦΟΥ

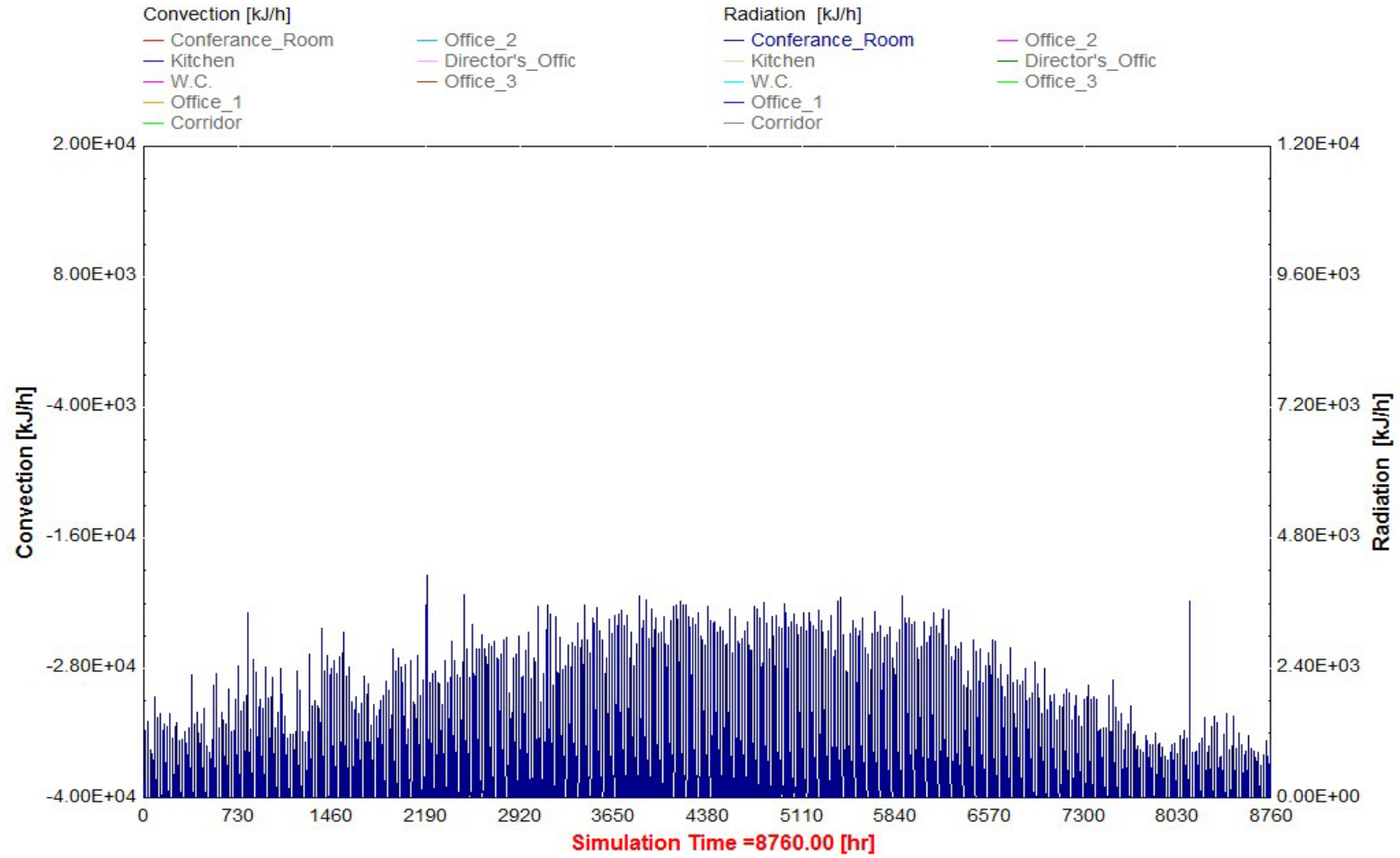


ΦΟΡΤΙΟ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΑΕΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΟΥ ΟΡΟΦΟΥ

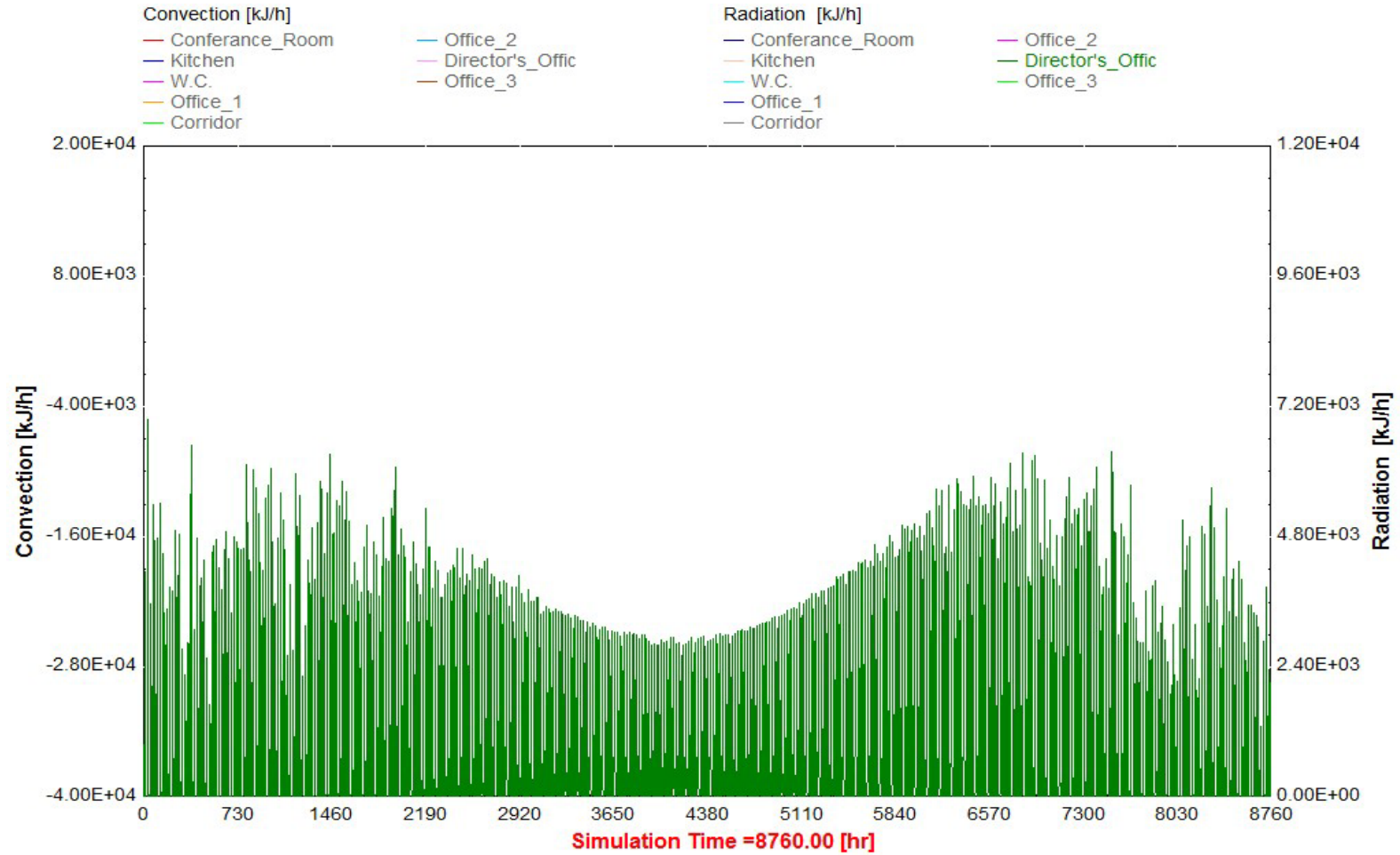


ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΕΝΑΝΕΩΣΗΣ ΑΕΡΑ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΟΥ ΟΡΟΦΟΥ

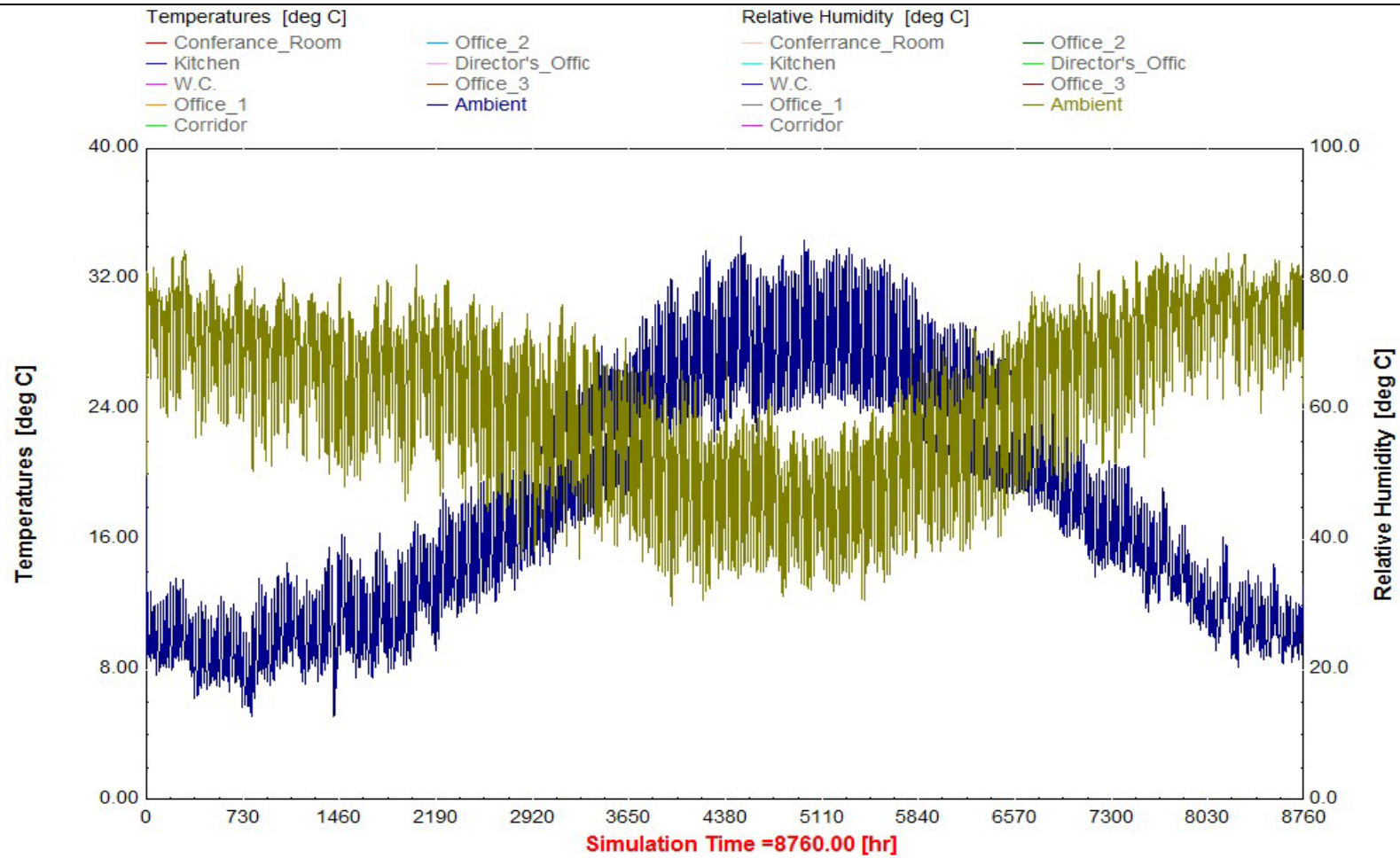


ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΖΩΝΗ ΑΙΘΟΥΣΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑΣΕΩΝ (ΔΥΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ)

ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΖΩΝΗ ΓΡΑΦΕΙΟ ΔΙΕΥΘΥΝΤΗ (ΝΟΤΙΟΣ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ)

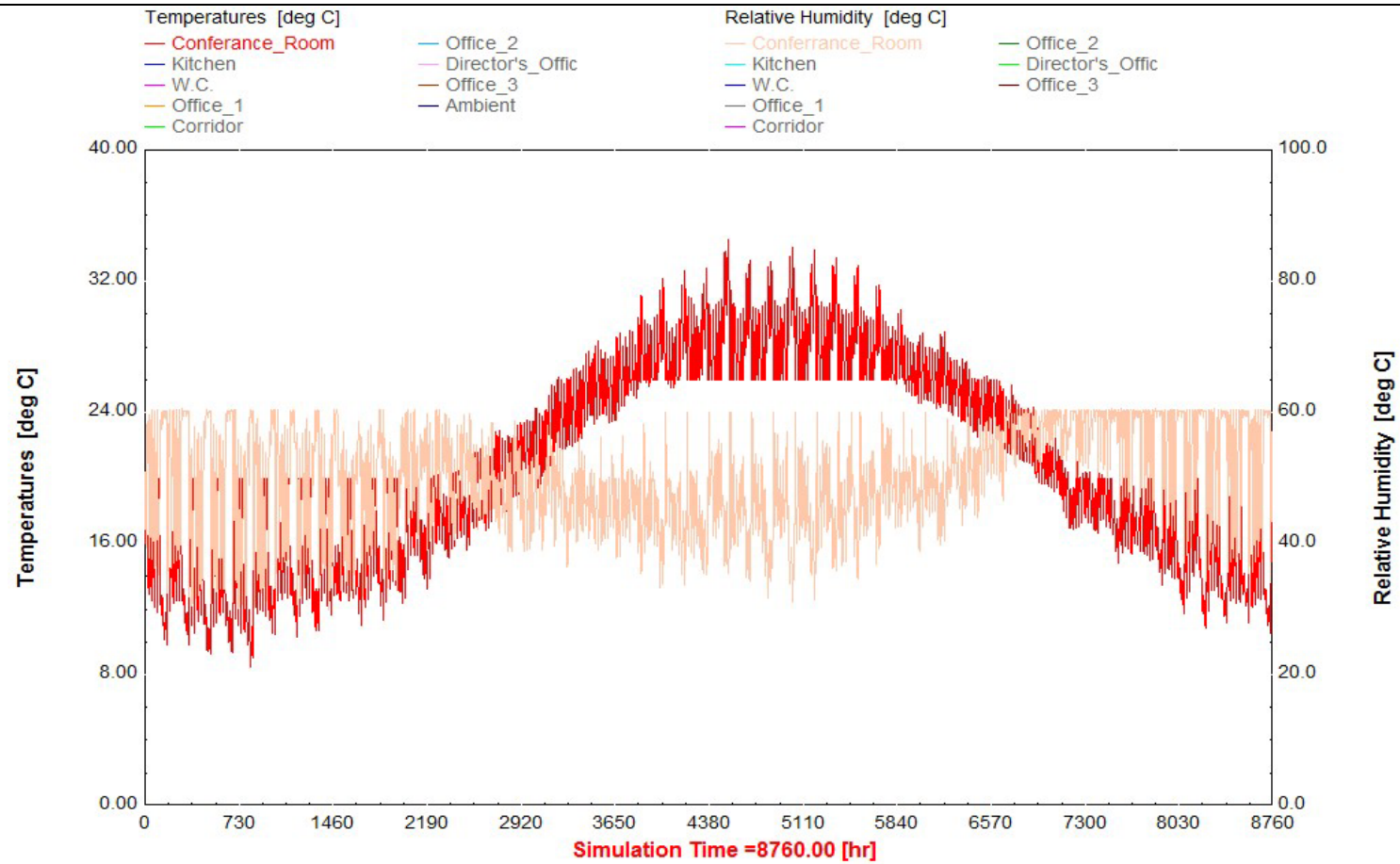


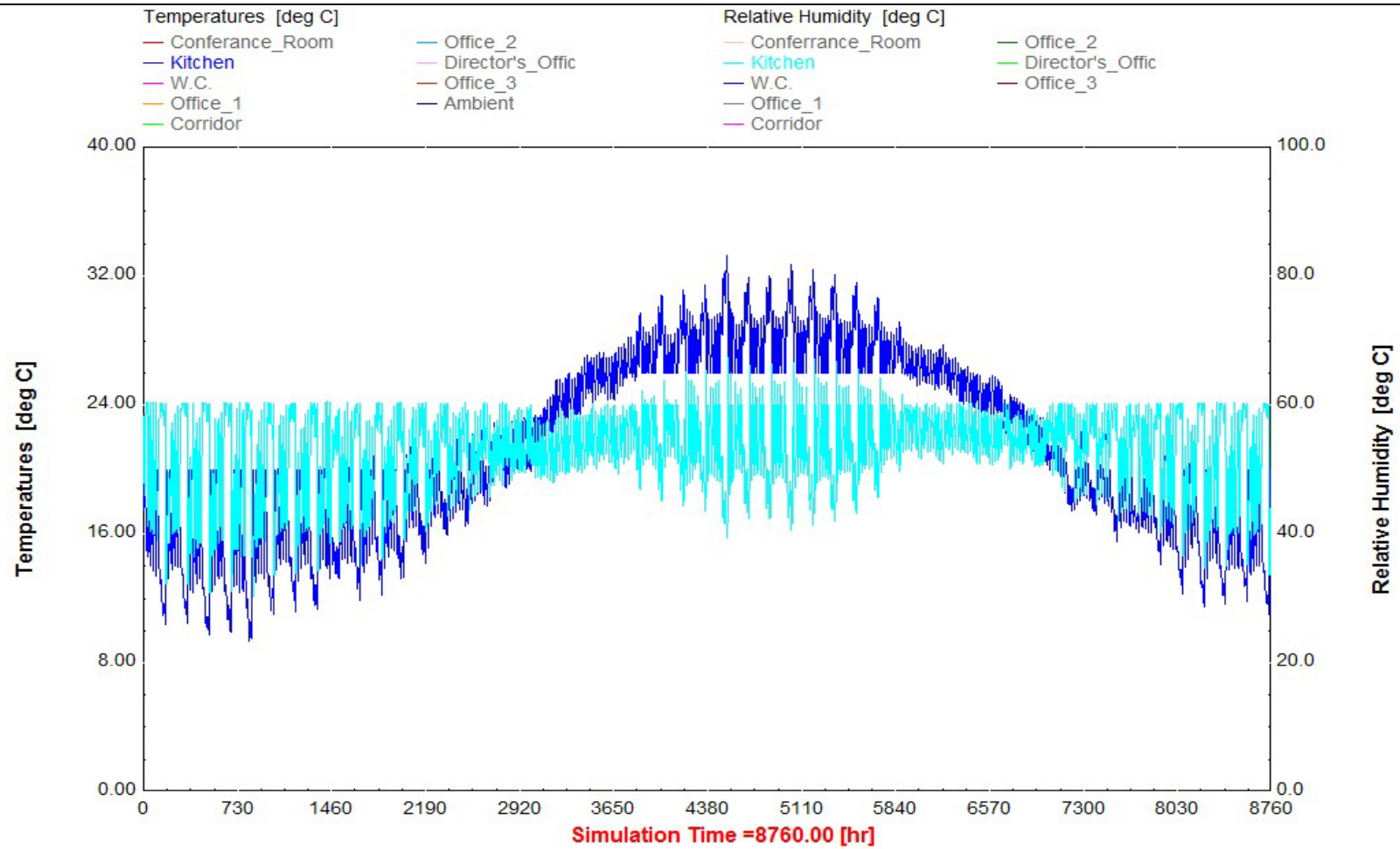
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



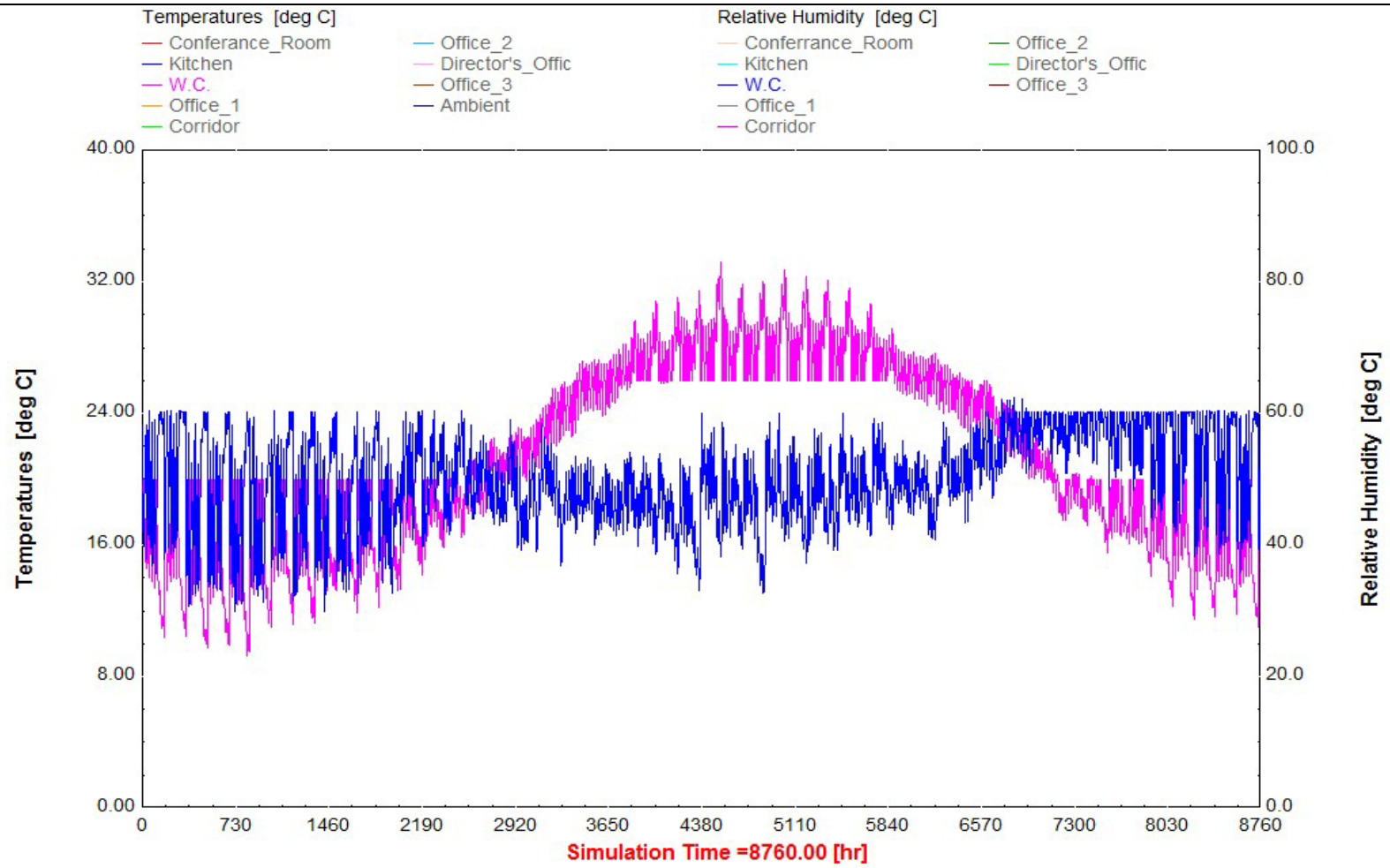
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ ΤΩΝ ΖΩΝΩΝ

Θερμοκρασία και σχετική υγρασία - Αίθουσα Συνεδριάσεων

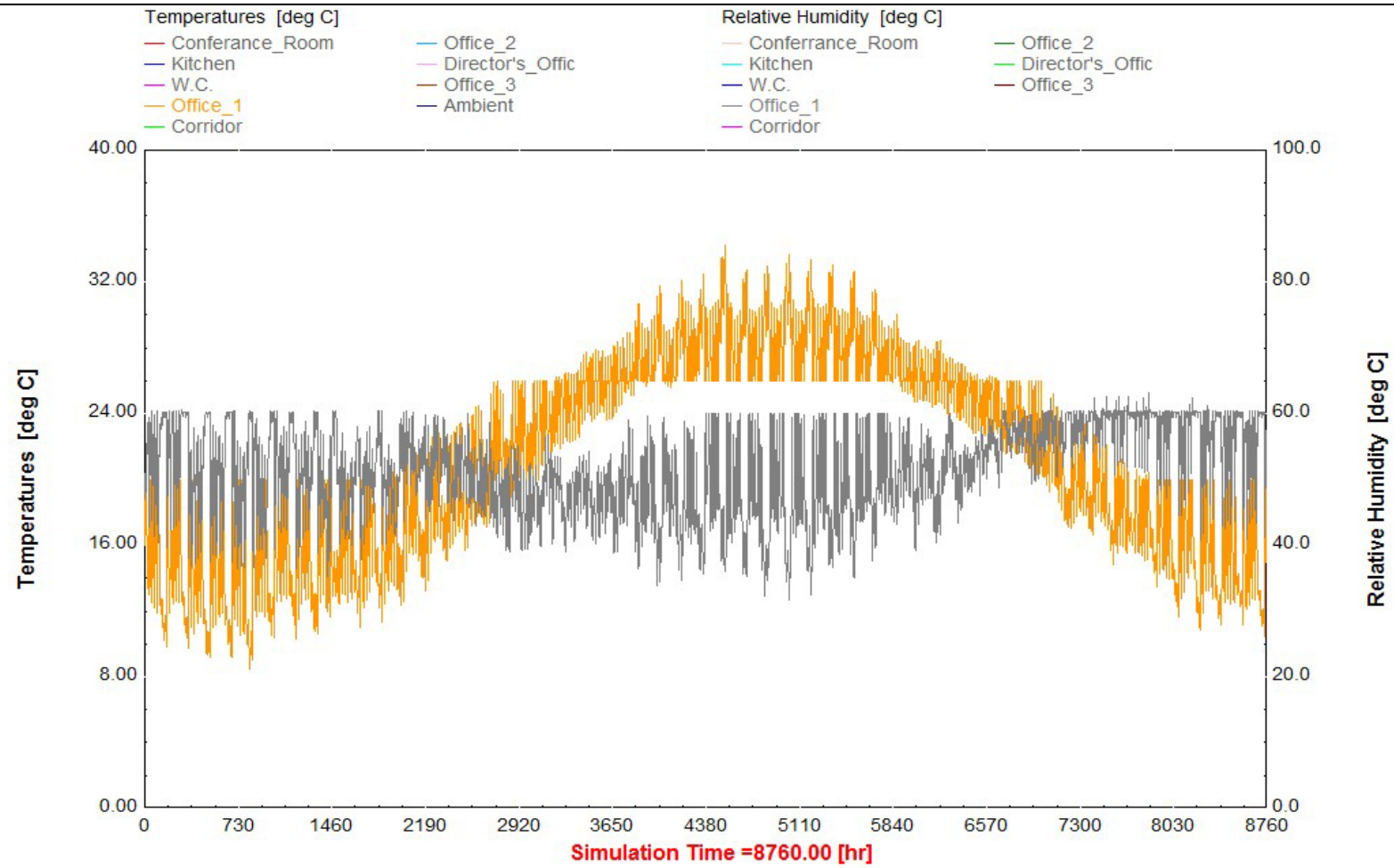




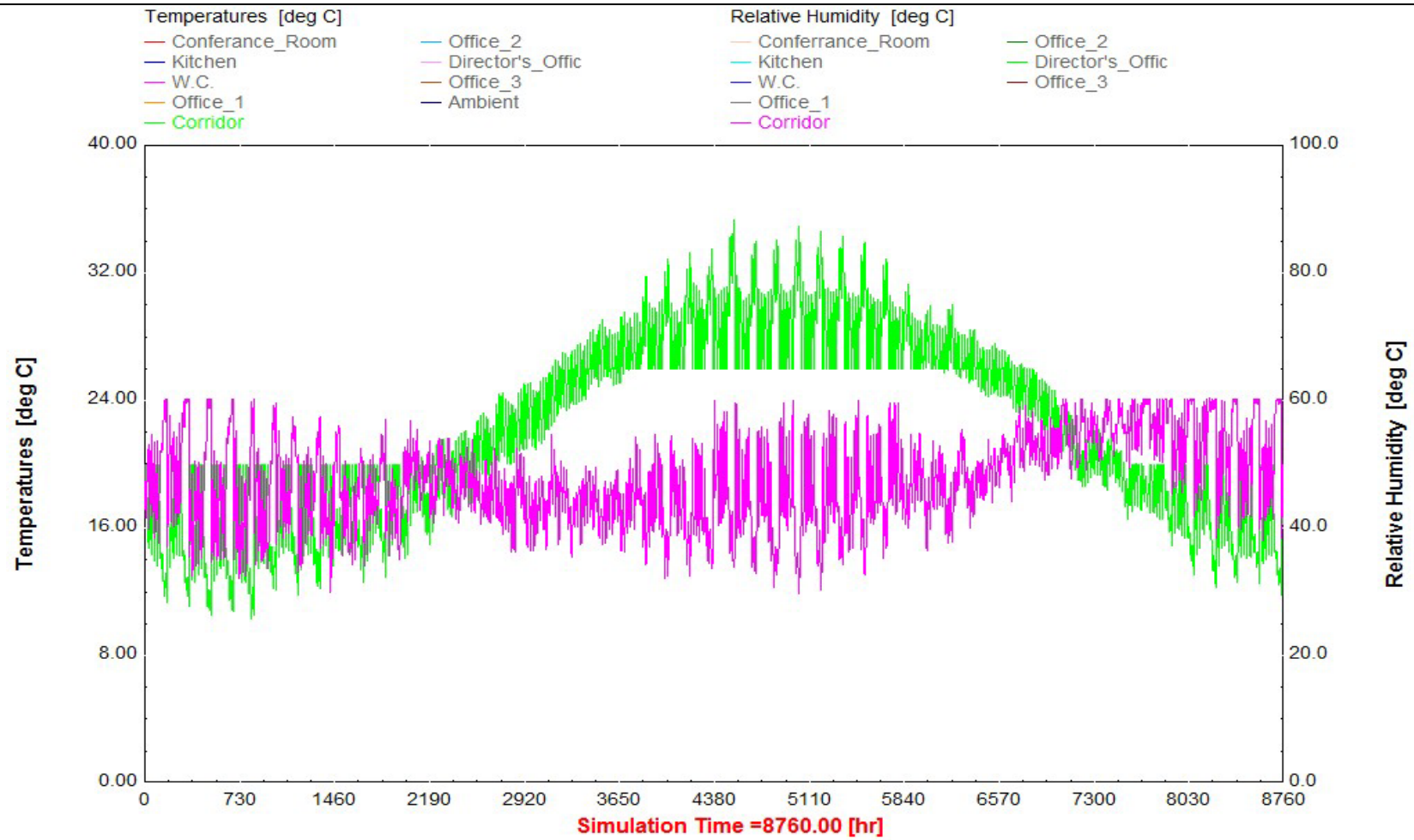
Θερμοκρασία και σχετική υγρασία - W.C



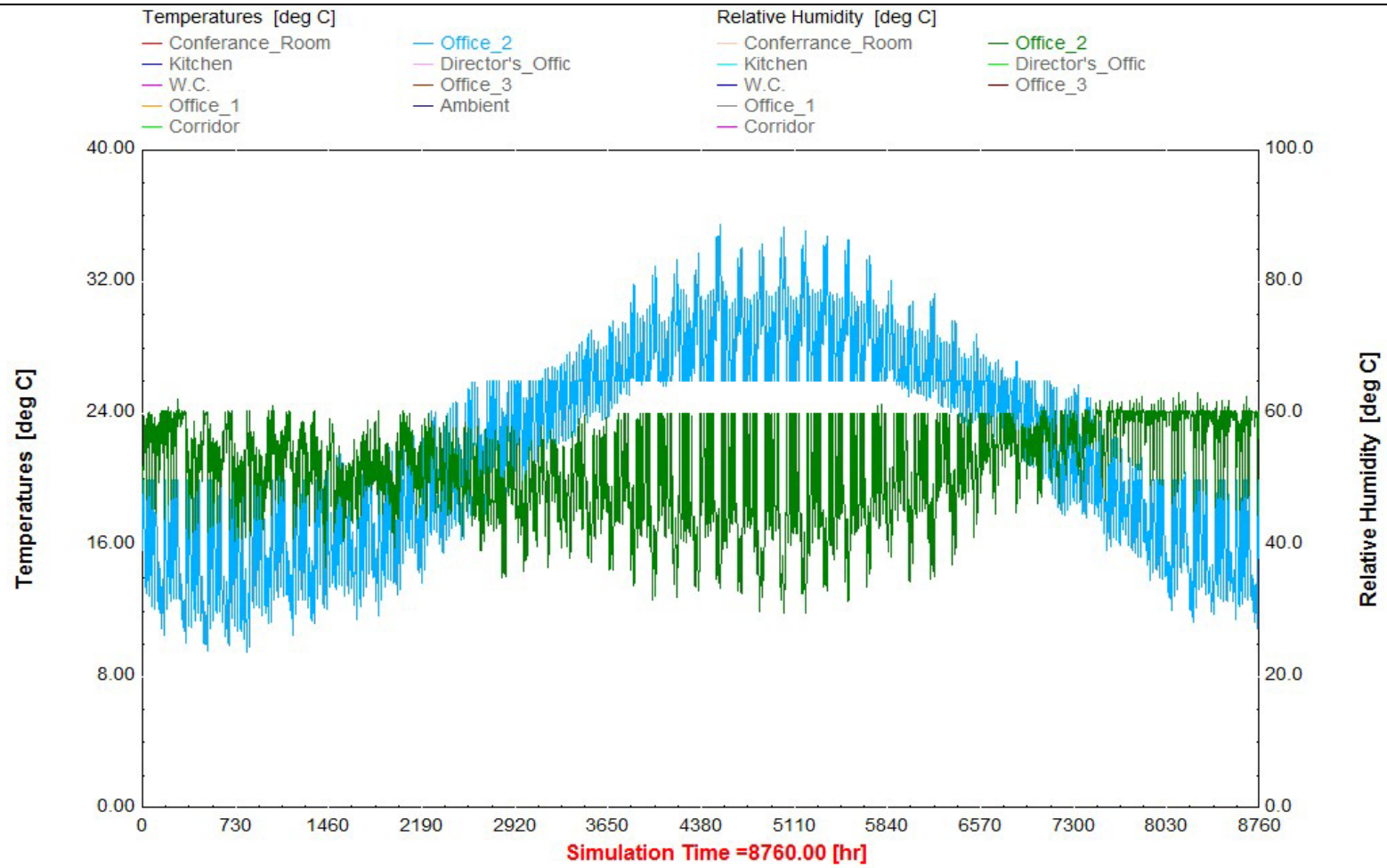
Θερμοκρασία και σχετική υγρασία - Γραφείο 1



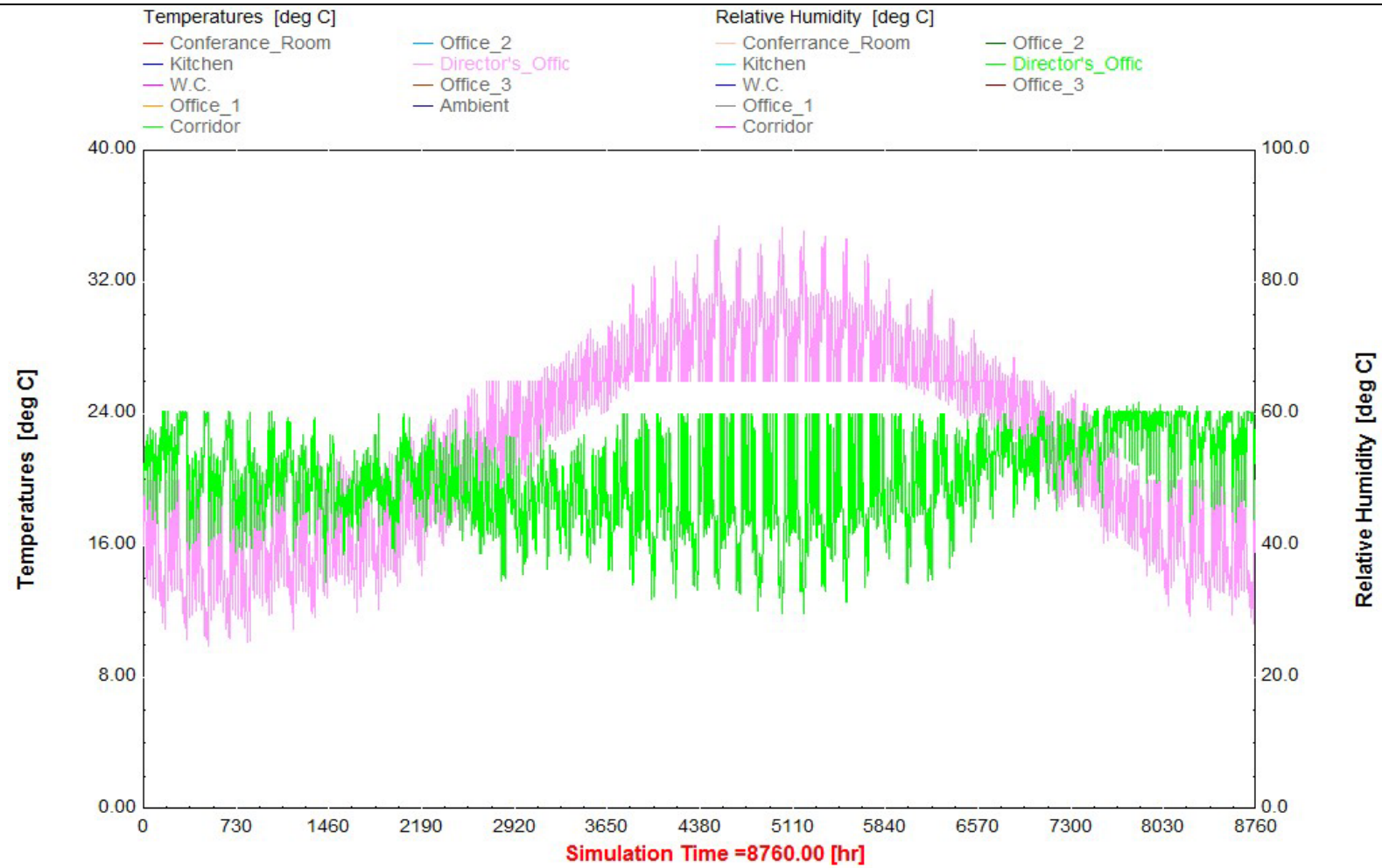
Θερμοκρασία και σχετική υγρασία - Διάδρομος



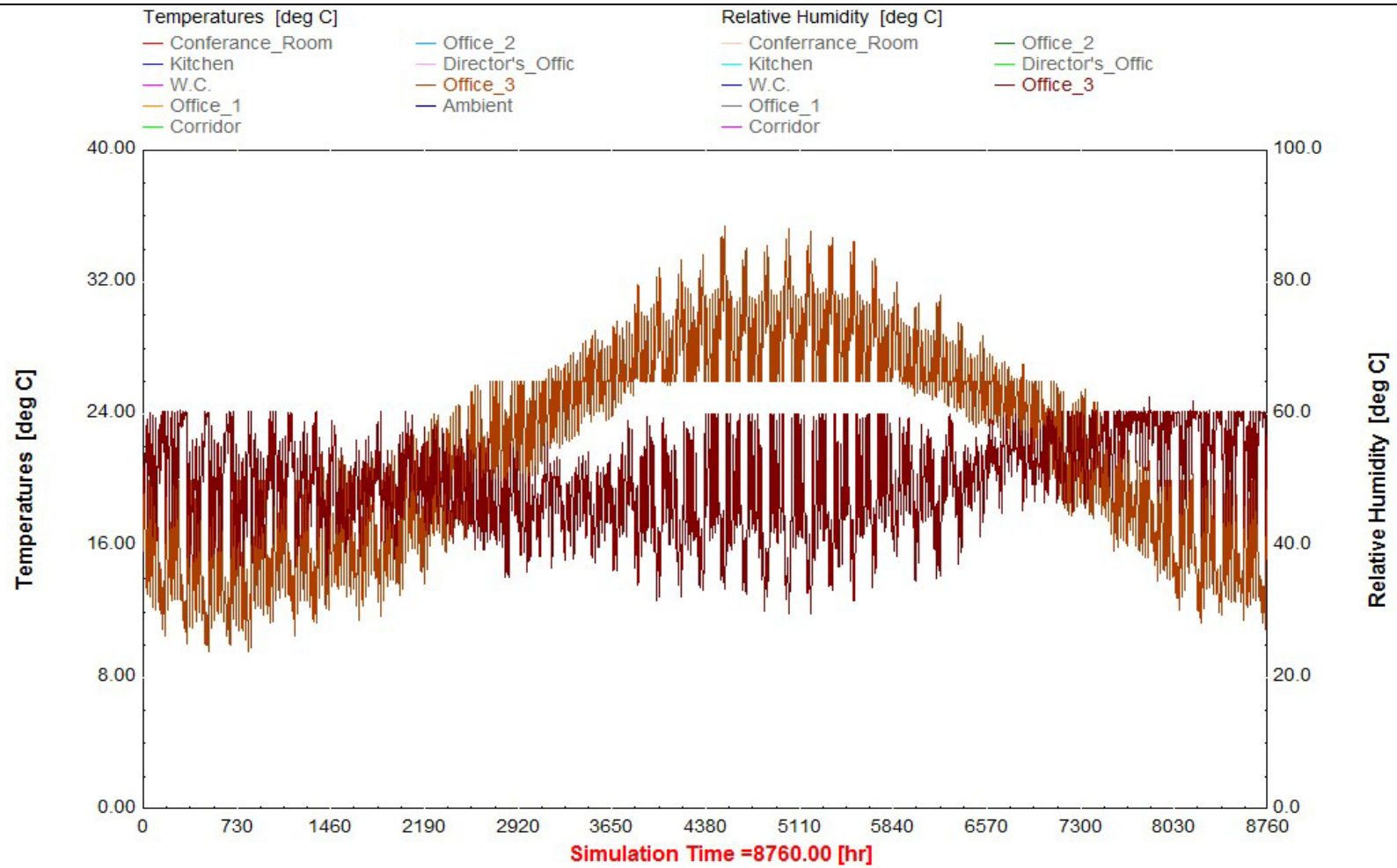
Θερμοκρασία και σχετική υγρασία - Γραφείο 2



Θερμοκρασία και σχετική υγρασία - Γραφείο Διευθυντή

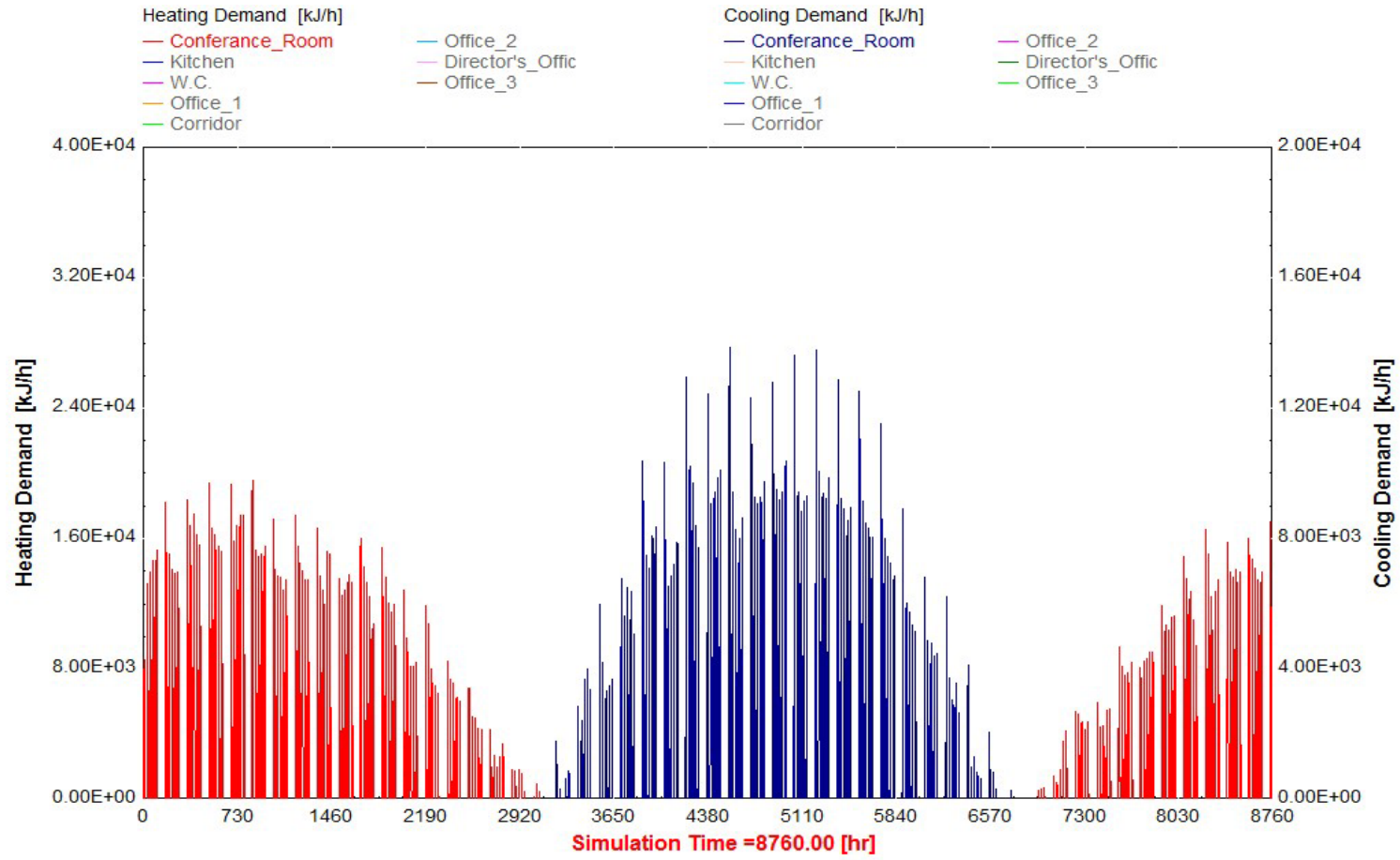


Θερμοκρασία και σχετική υγρασία - Γραφείο 3

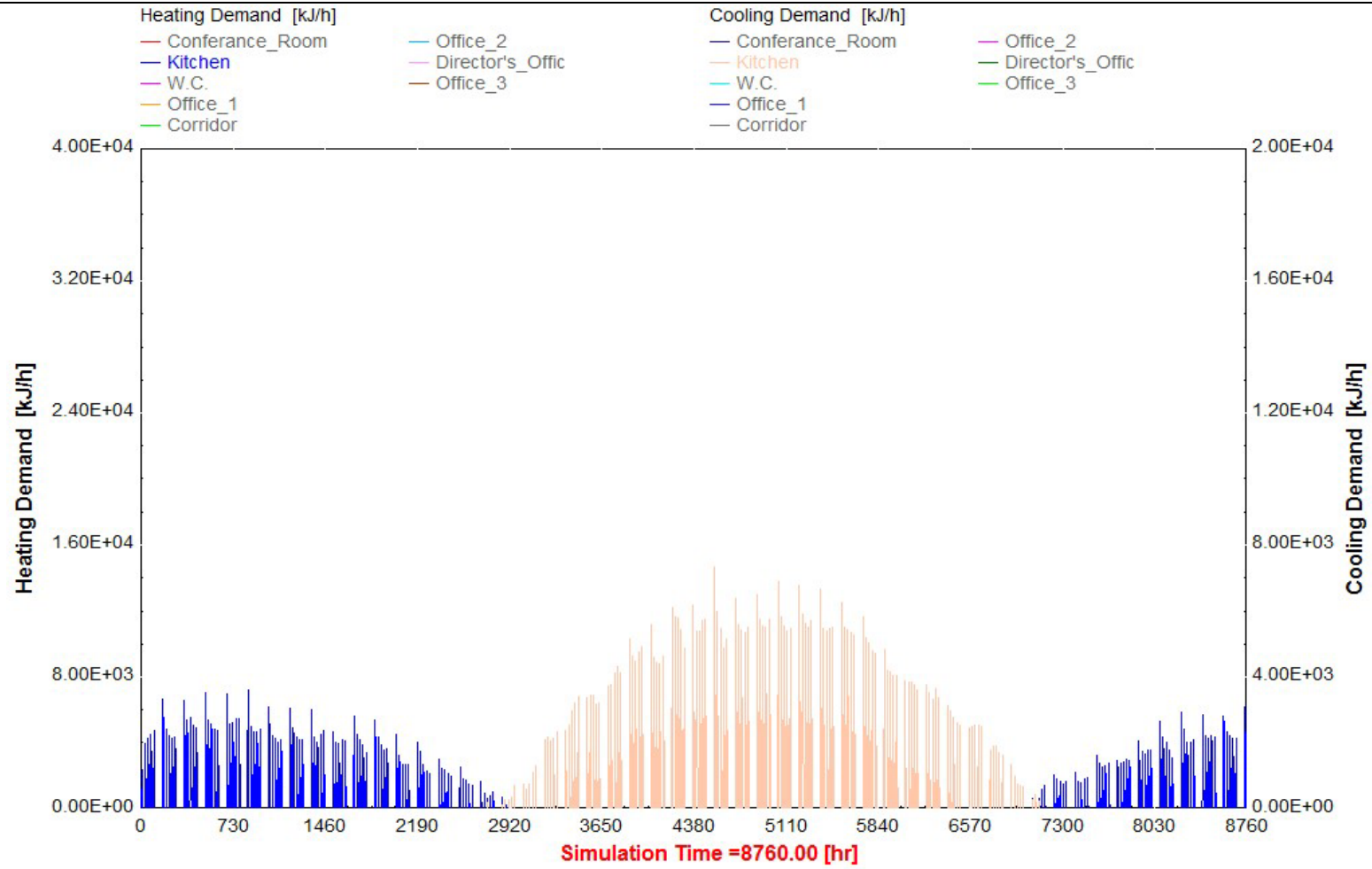


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΨΥΞΗΣ ΑΝΑ ΖΩΝΗ

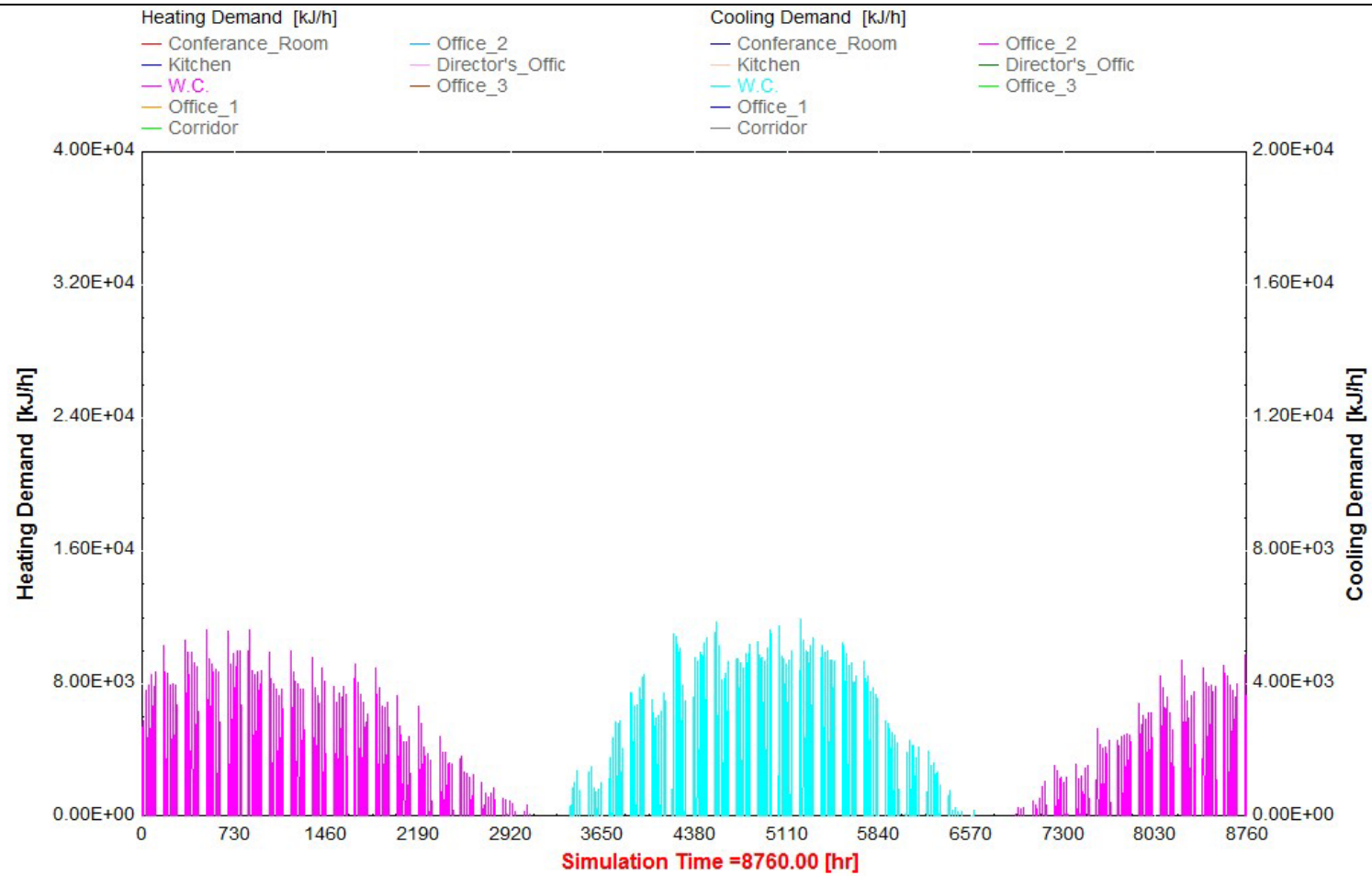
Απαιτούμενη θέρμανση και Ψύξη - Αίθουσα συνεδριάσεων



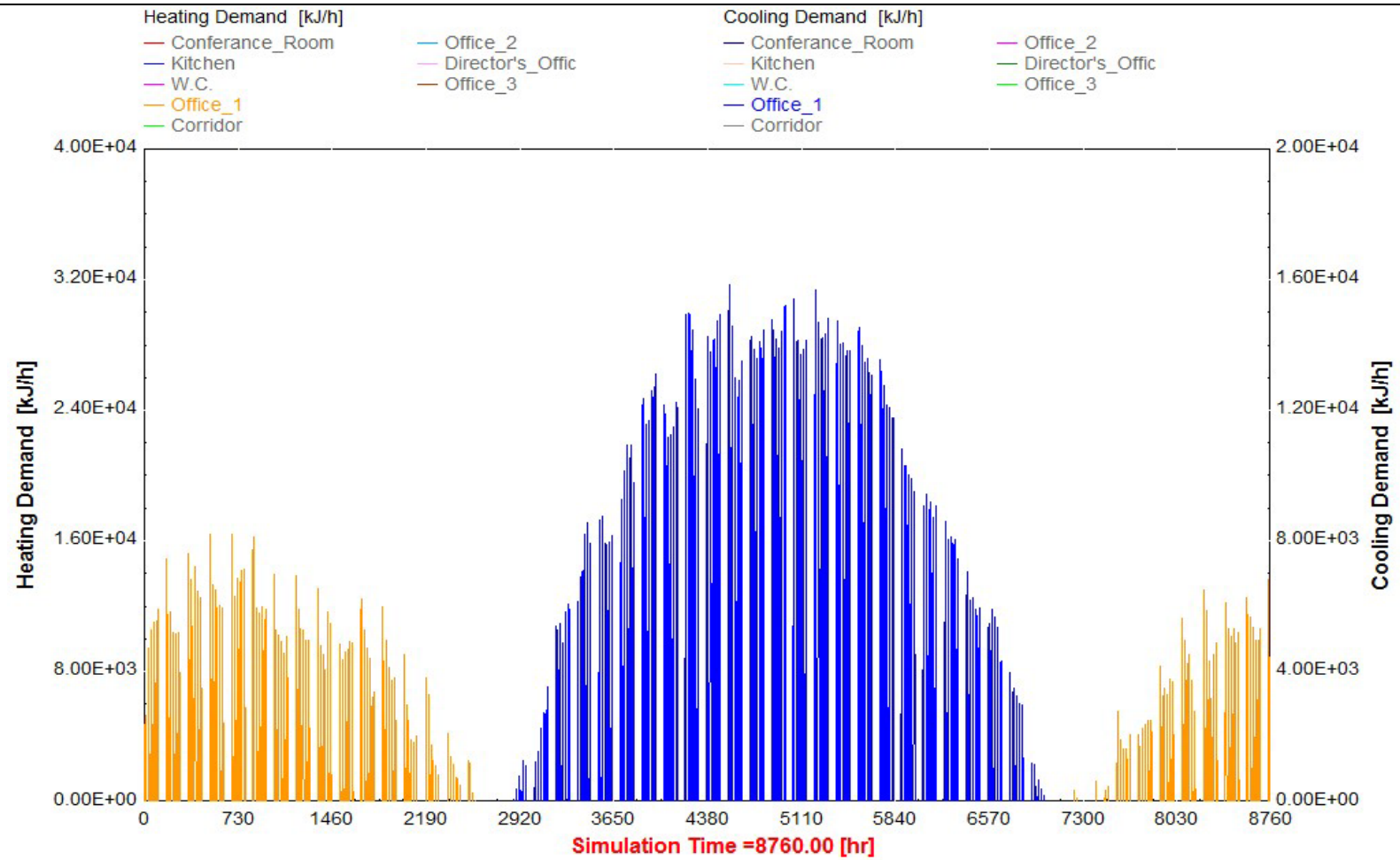
Απαιτούμενη θέρμανση και Ψύξη - Κουζίνα



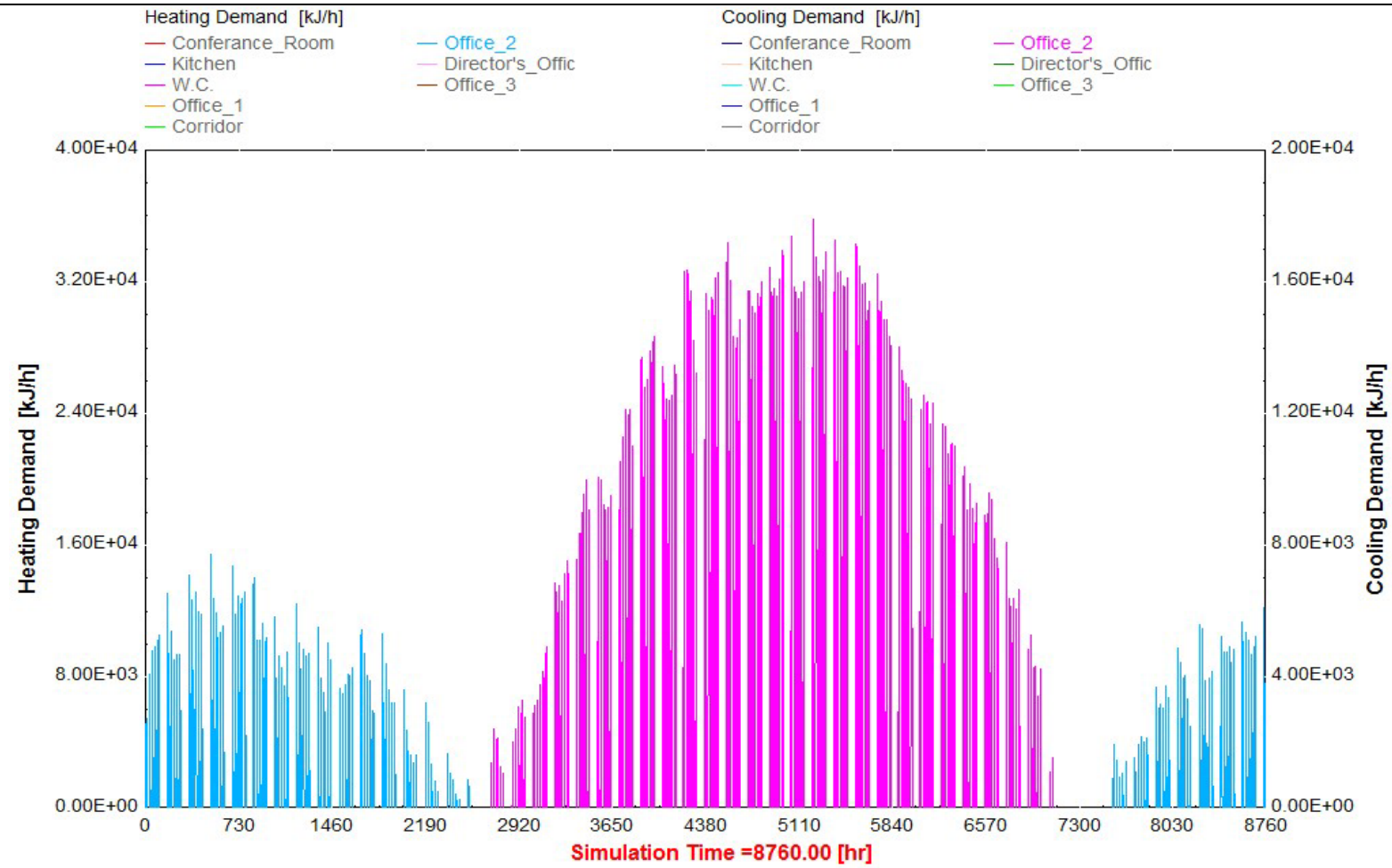
Απαιτούμενη θέρμανση και Ψύξη - W.C.



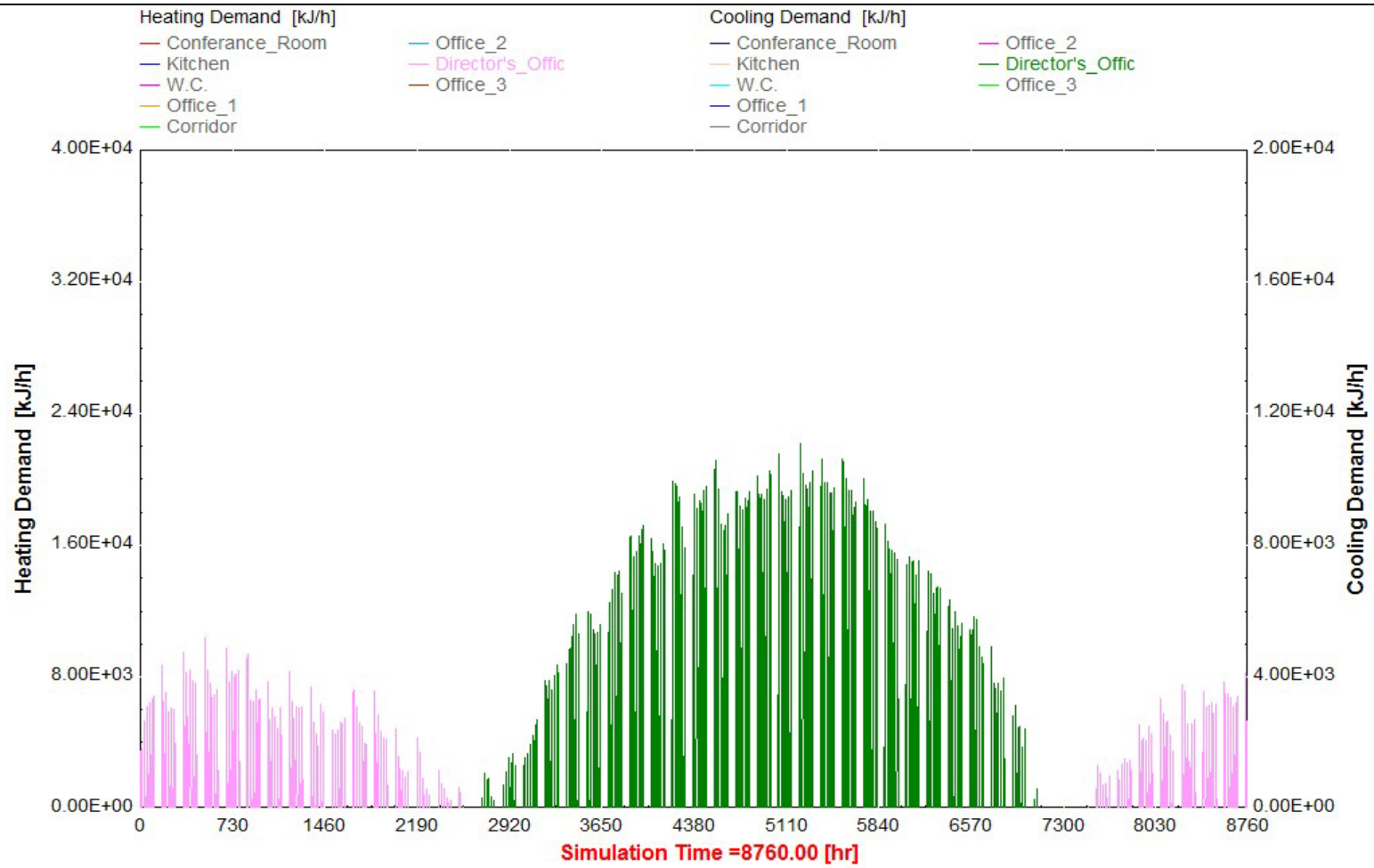
Απαιτούμενη θέρμανση και Ψύξη - Γραφείο 1



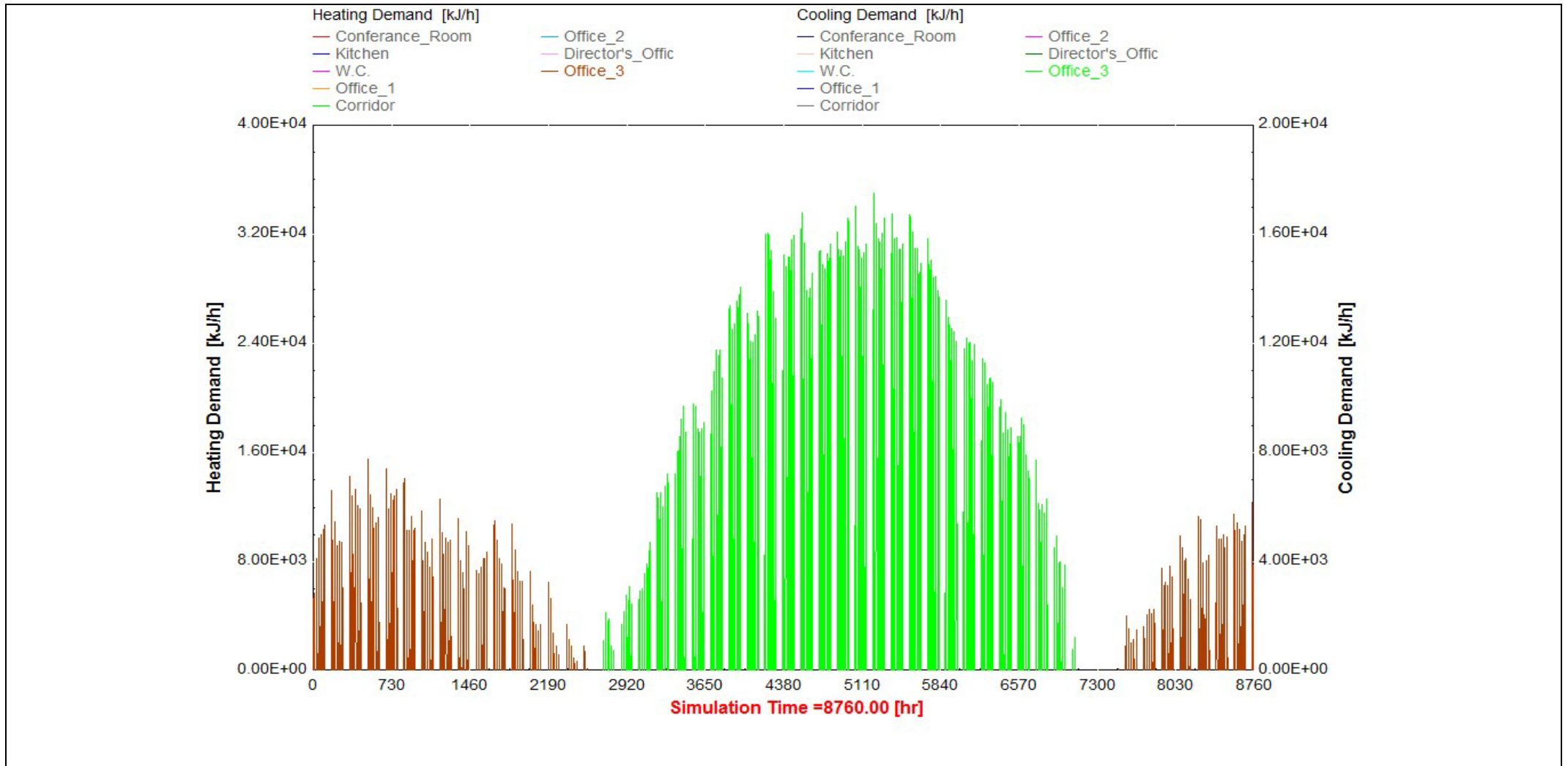
Απαιτούμενη θέρμανση και Ψύξη - Γραφείο 2



Απαιτούμενη θέρμανση και Ψύξη - Γραφείο Διευθυντή

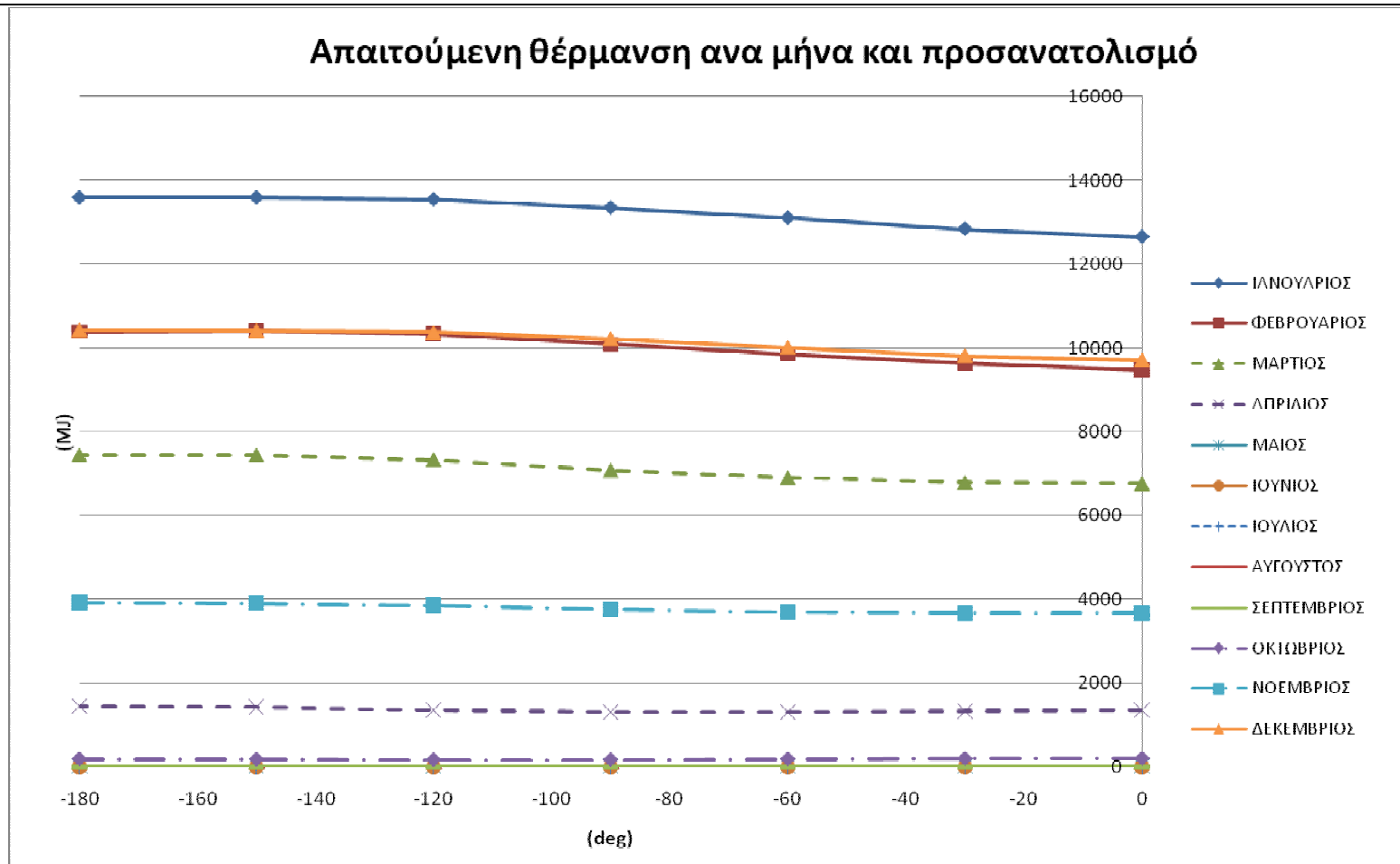


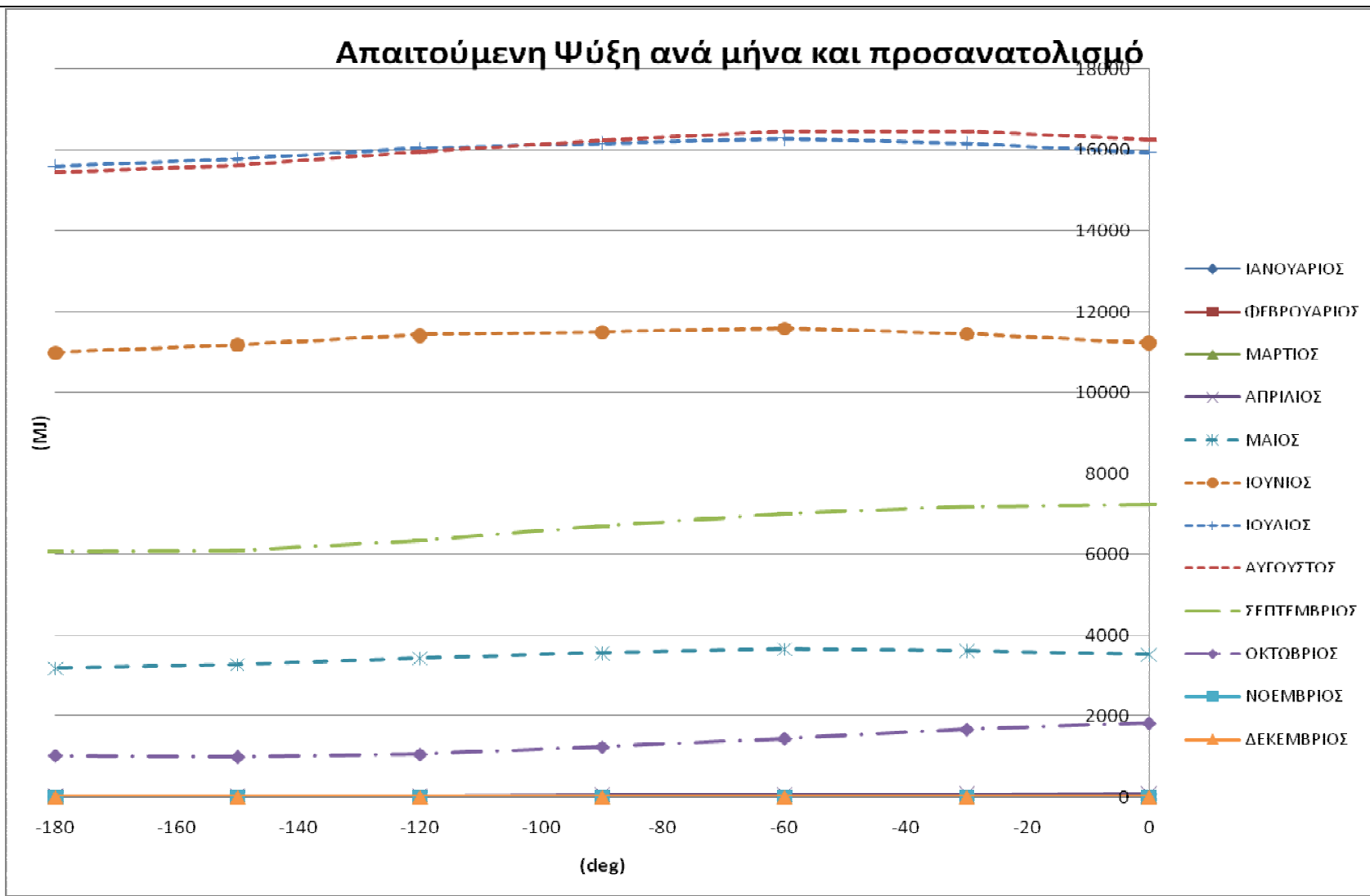
Απαιτούμενη θέρμανση και Ψύξη - Γραφείο 3



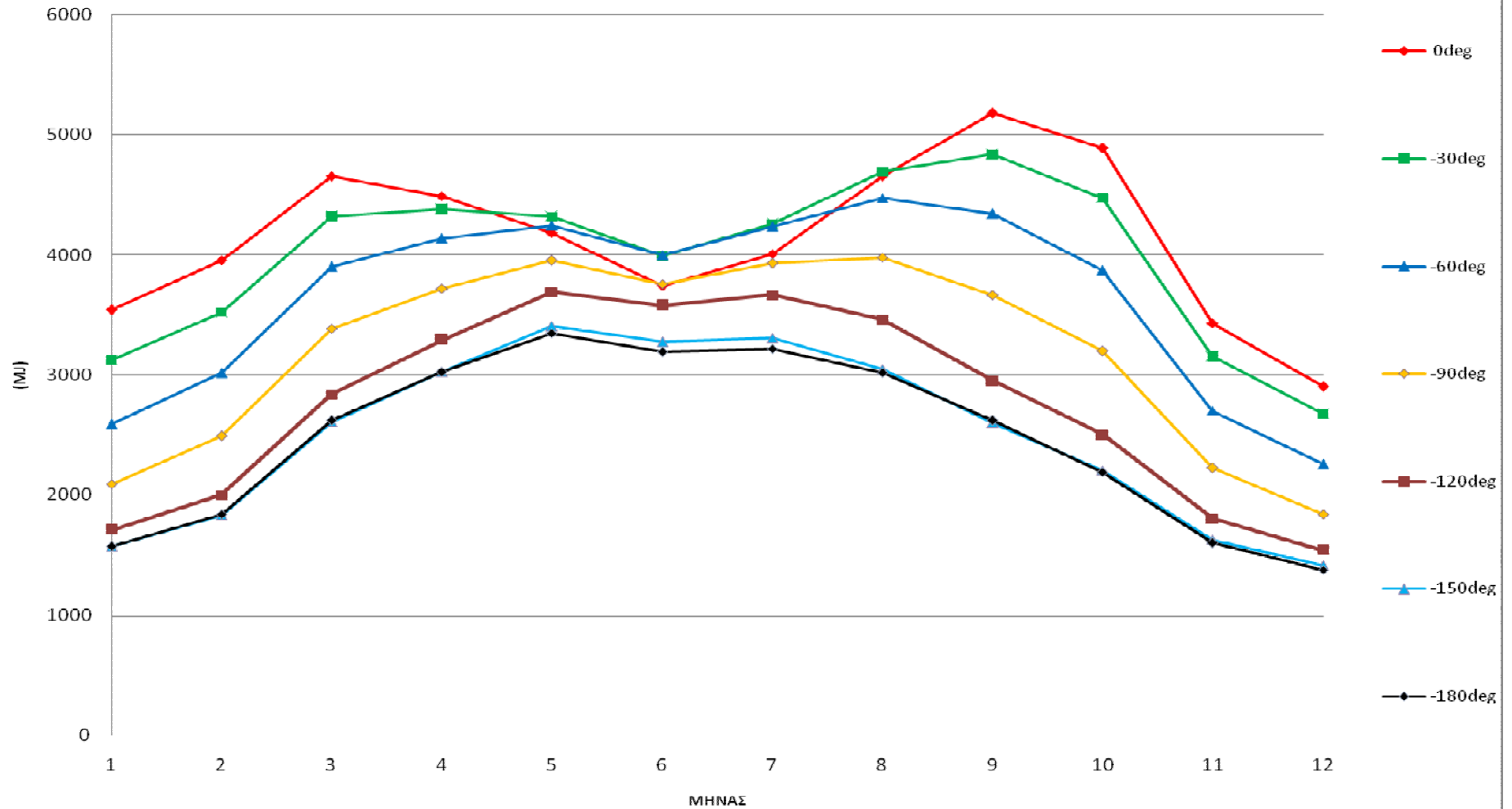
2. ΠΡΟΣΑΝΤΟΛΙΣΜΟΣ ΚΤΗΡΙΟΥ

ι. ΚΤΗΡΙΟ ΜΕ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ 30% ΤΗΣ ΝΟΤΙΑΣ ΟΨΗΣ ΚΑΙ 10% ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΚΑΙ ΔΥΤΙΚΗΣ



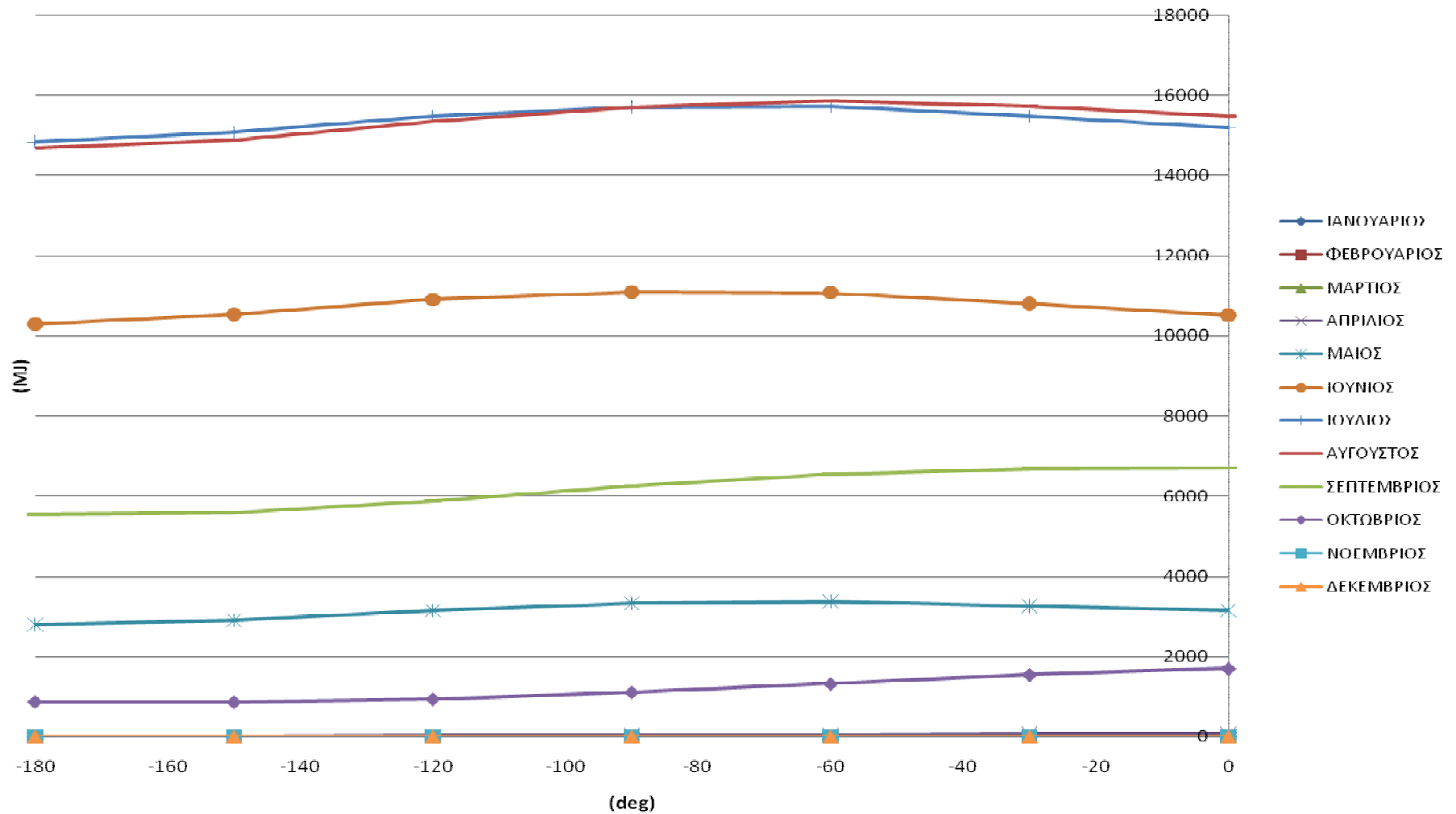


Εισερχόμενη ακτινοβολία δια μέσω των υαλοπινάκων

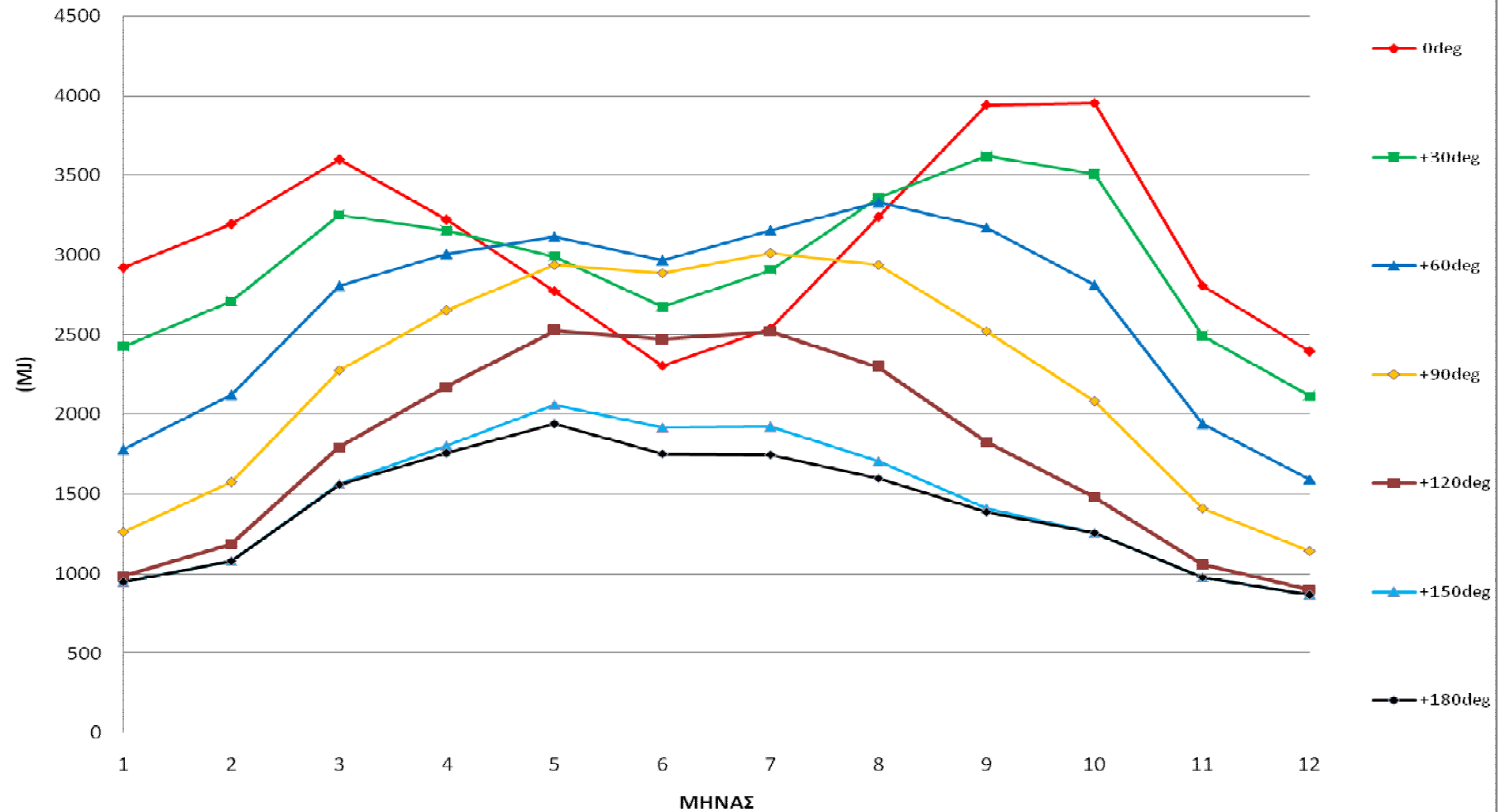


ii. ΚΤΗΡΙΟ ΜΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ 30% ΤΗΣ ΝΟΤΙΑΣ ΟΨΗΣ ΚΑΙ 0% ΣΕ ΑΝΑΤΟΛΗ ΚΑΙ ΔΥΣΗ

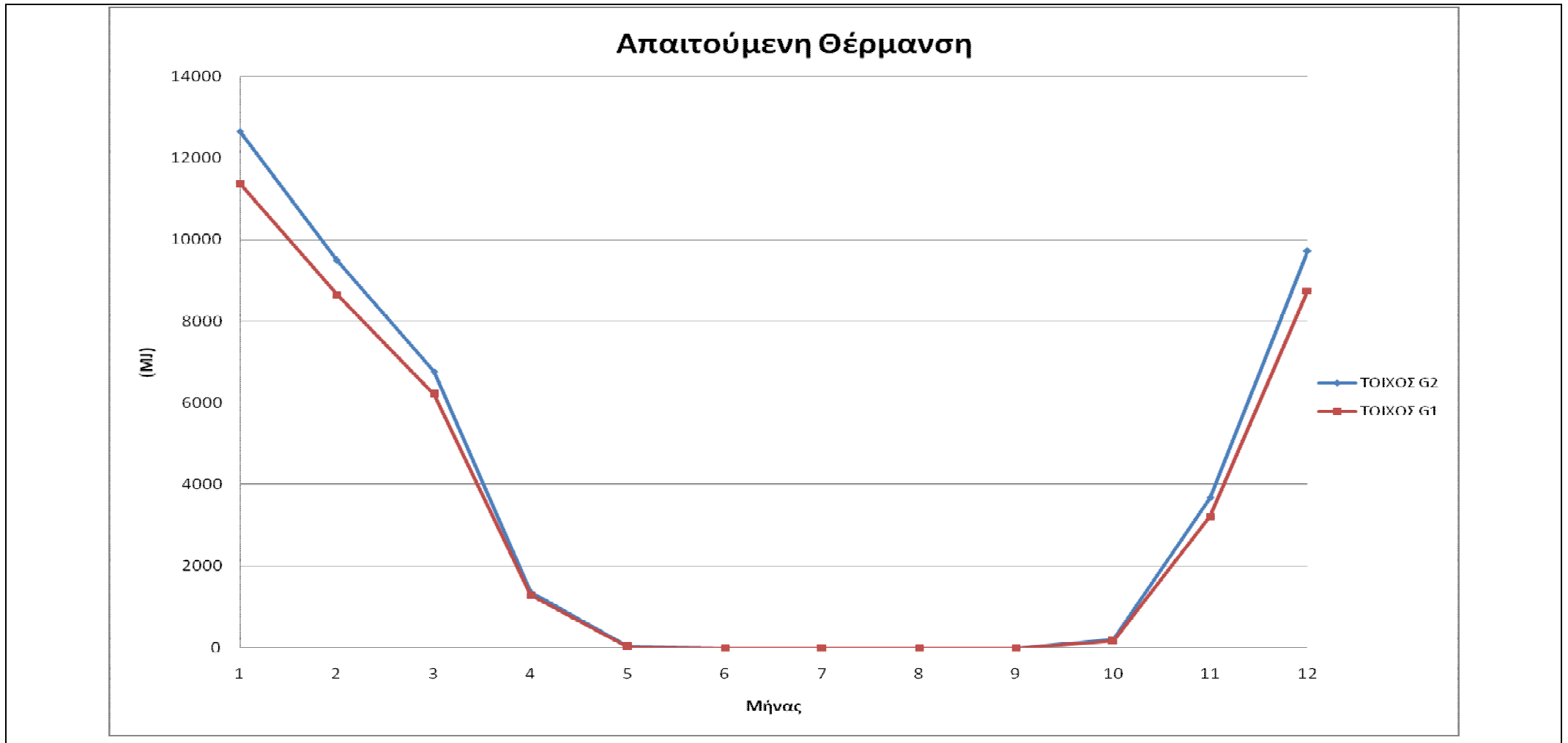
Απαιτούμενη Ψύξη ανά μήνα και προσανατολισμό

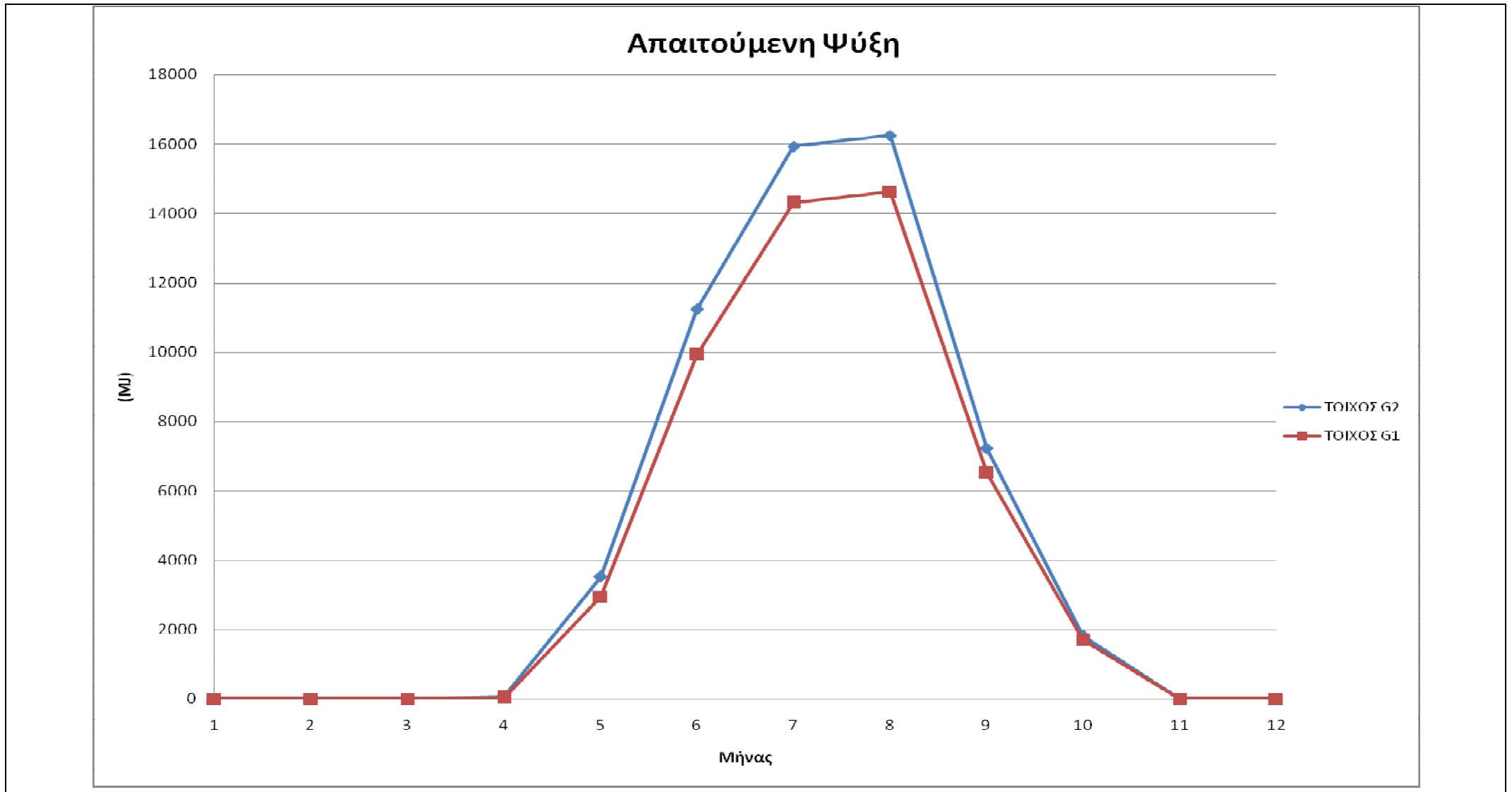


Εισερχόμενη ακτινοβολία δια μέσω των υαλοπινάκων

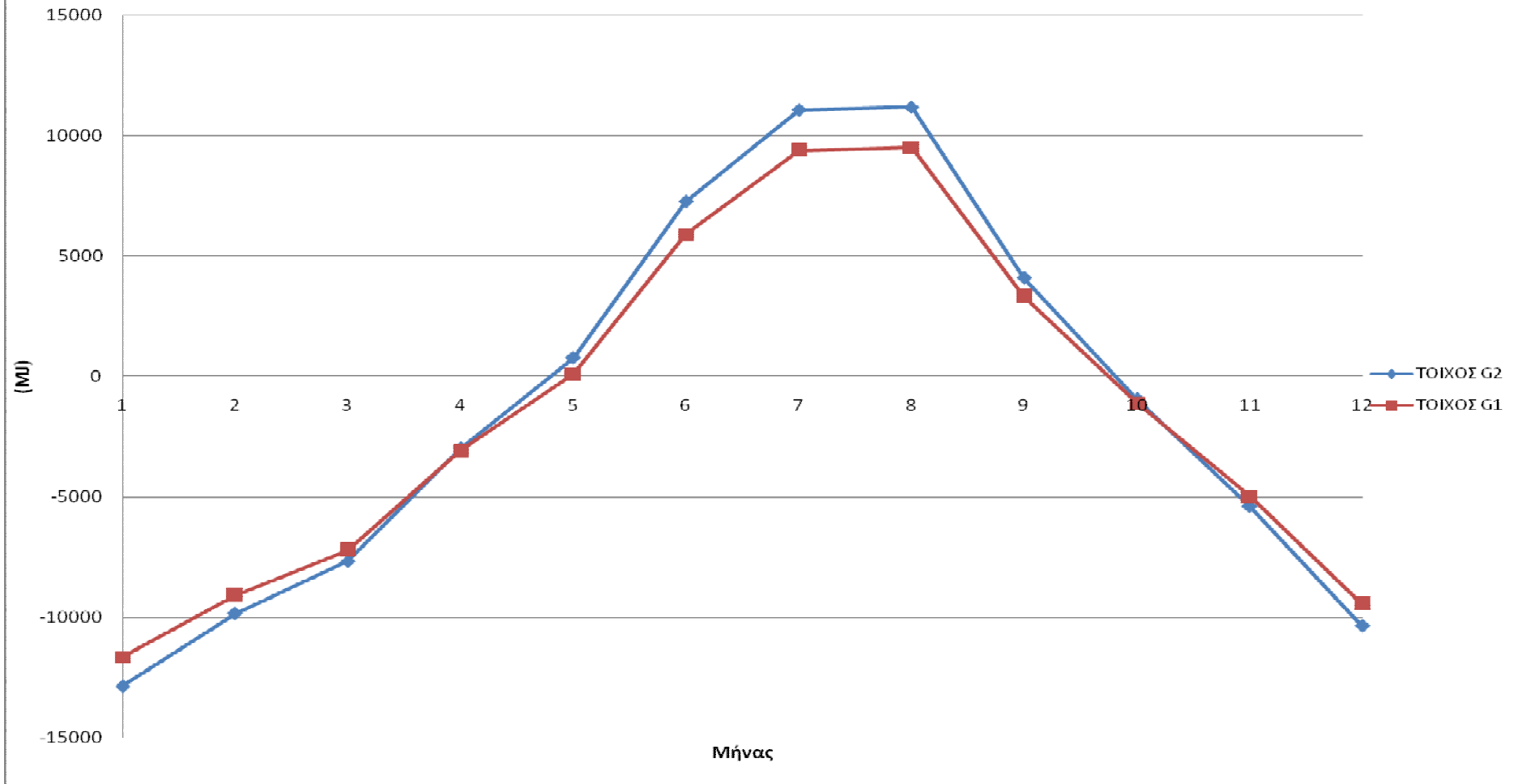


3. ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΙ ΤΟΙΧΟΙ

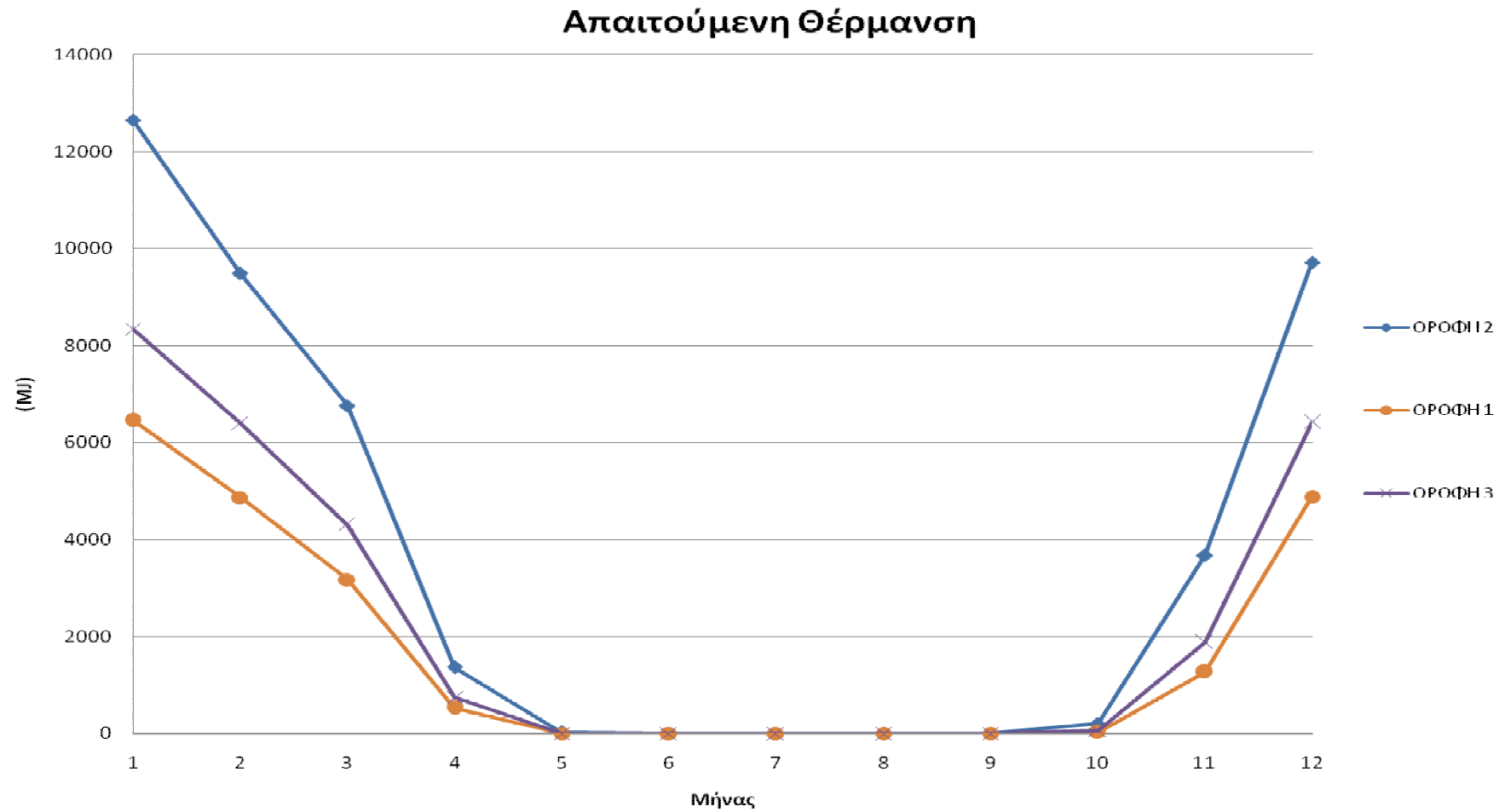


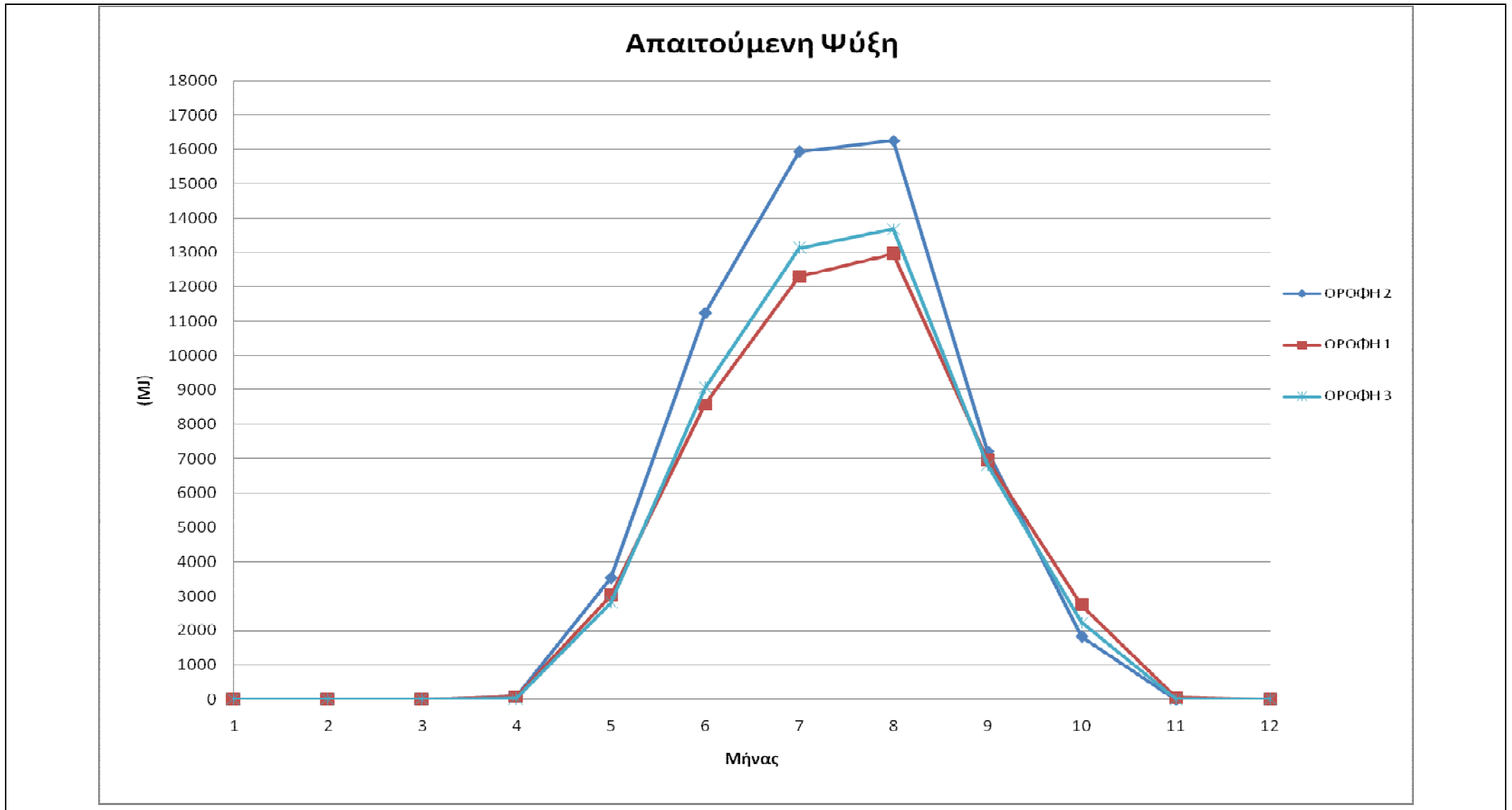


Μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής από το σύνολο των επιφανειών του κτηρίου

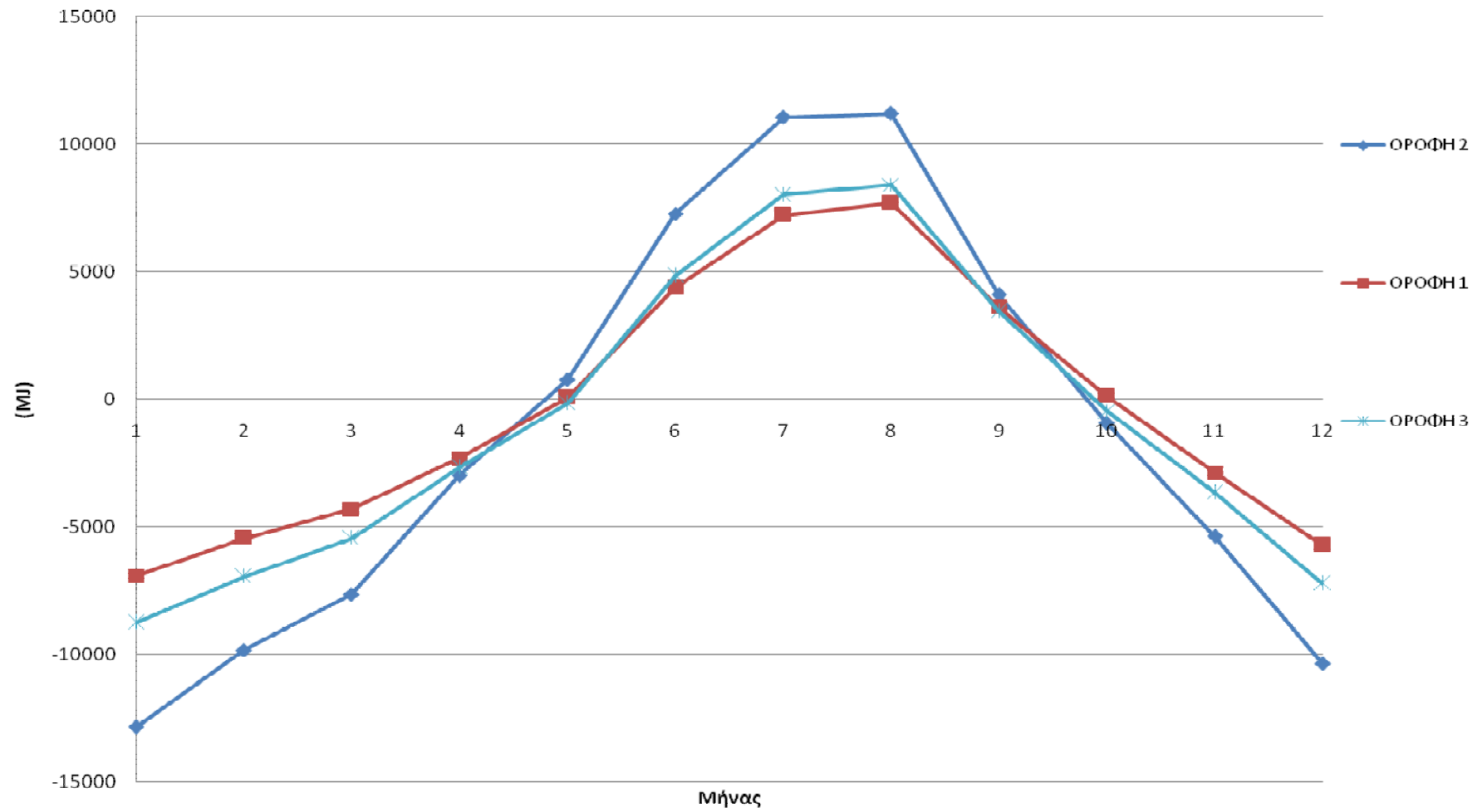


4. ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΟΡΟΦΕΣ



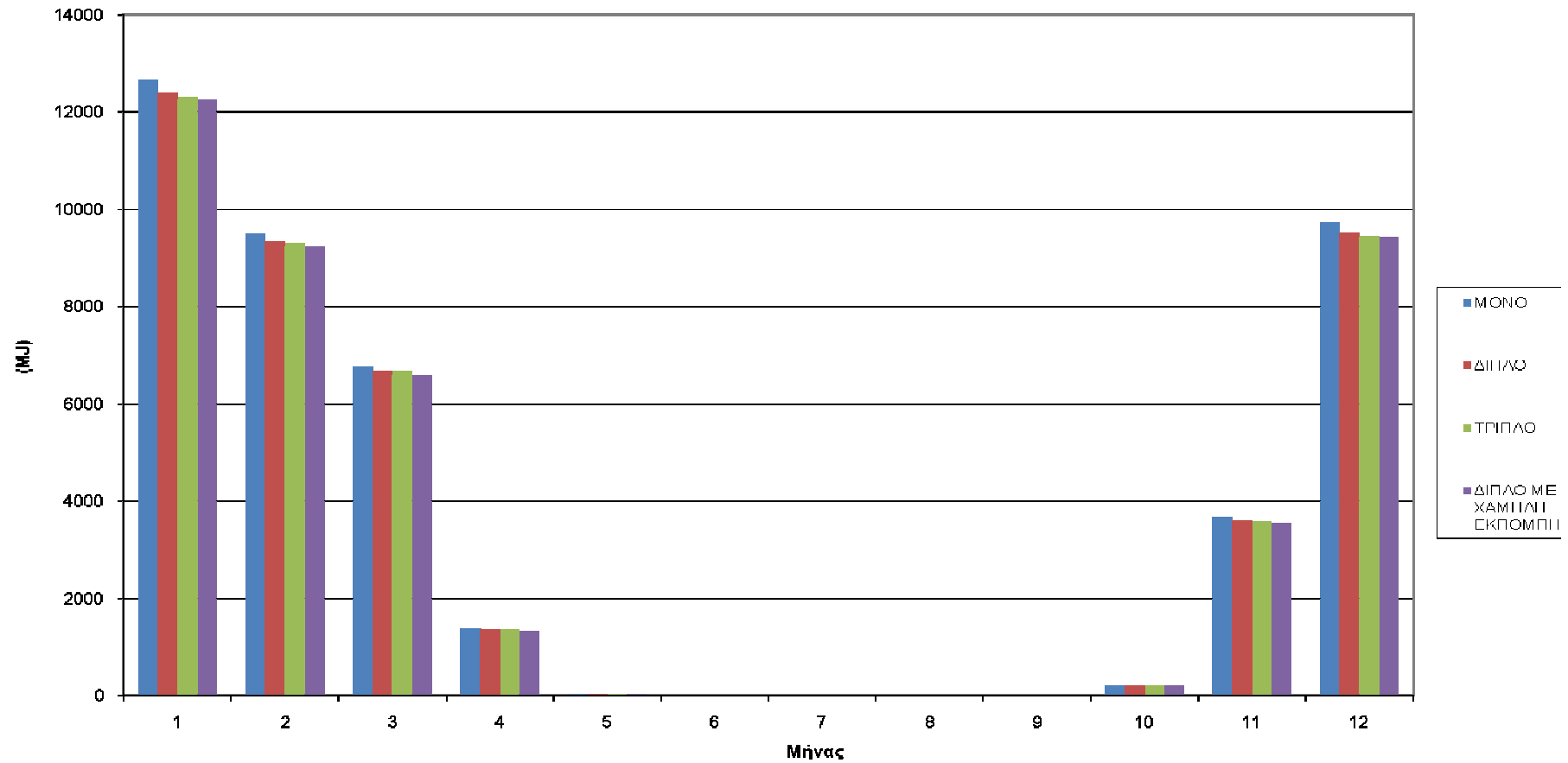


Συναγωγή από το σύνολο των επιφανειών του κτηρίου

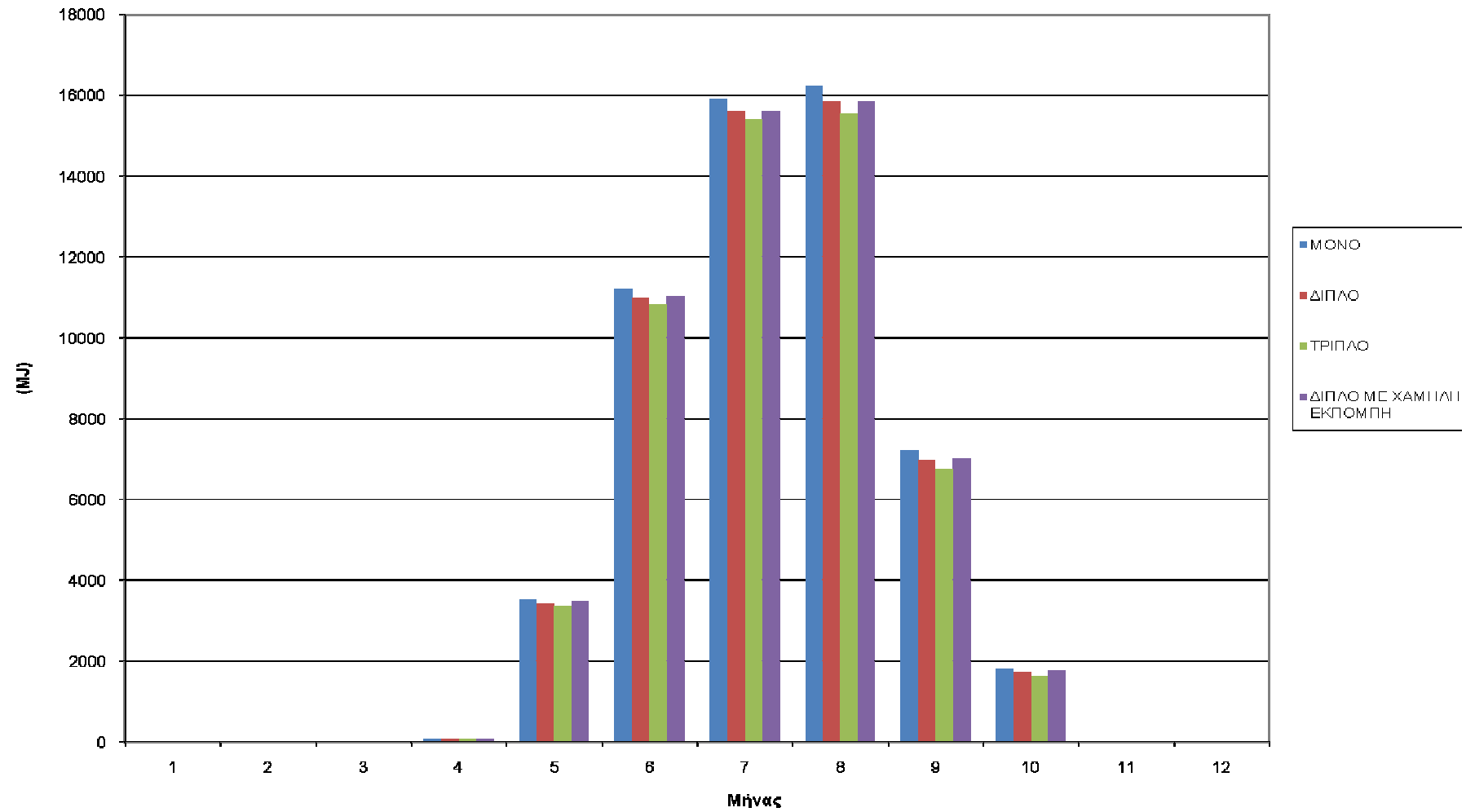


5. ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ

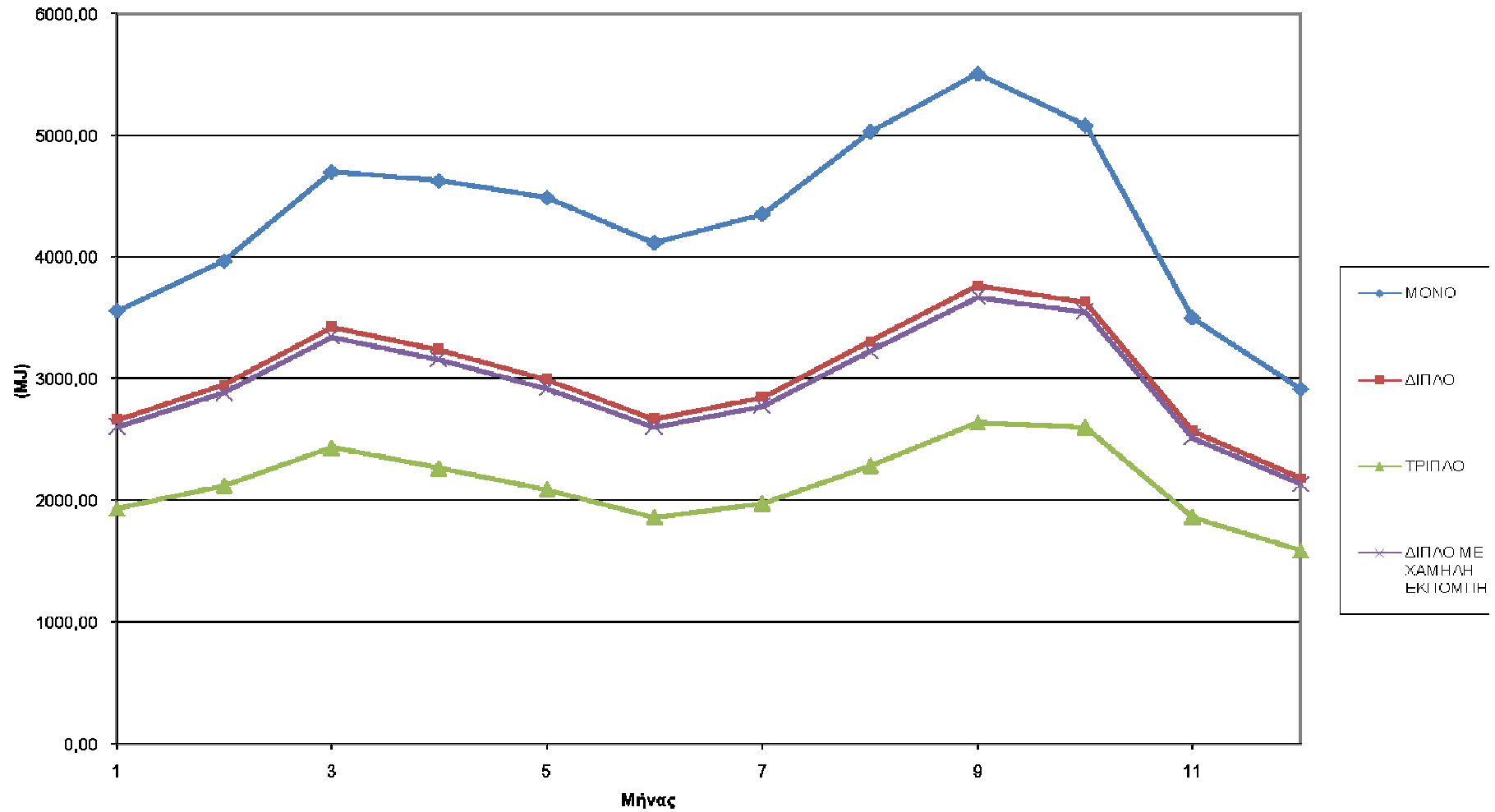
Απαιτούμενη Θέρμανση



Απαιτούμενη Ψύξη

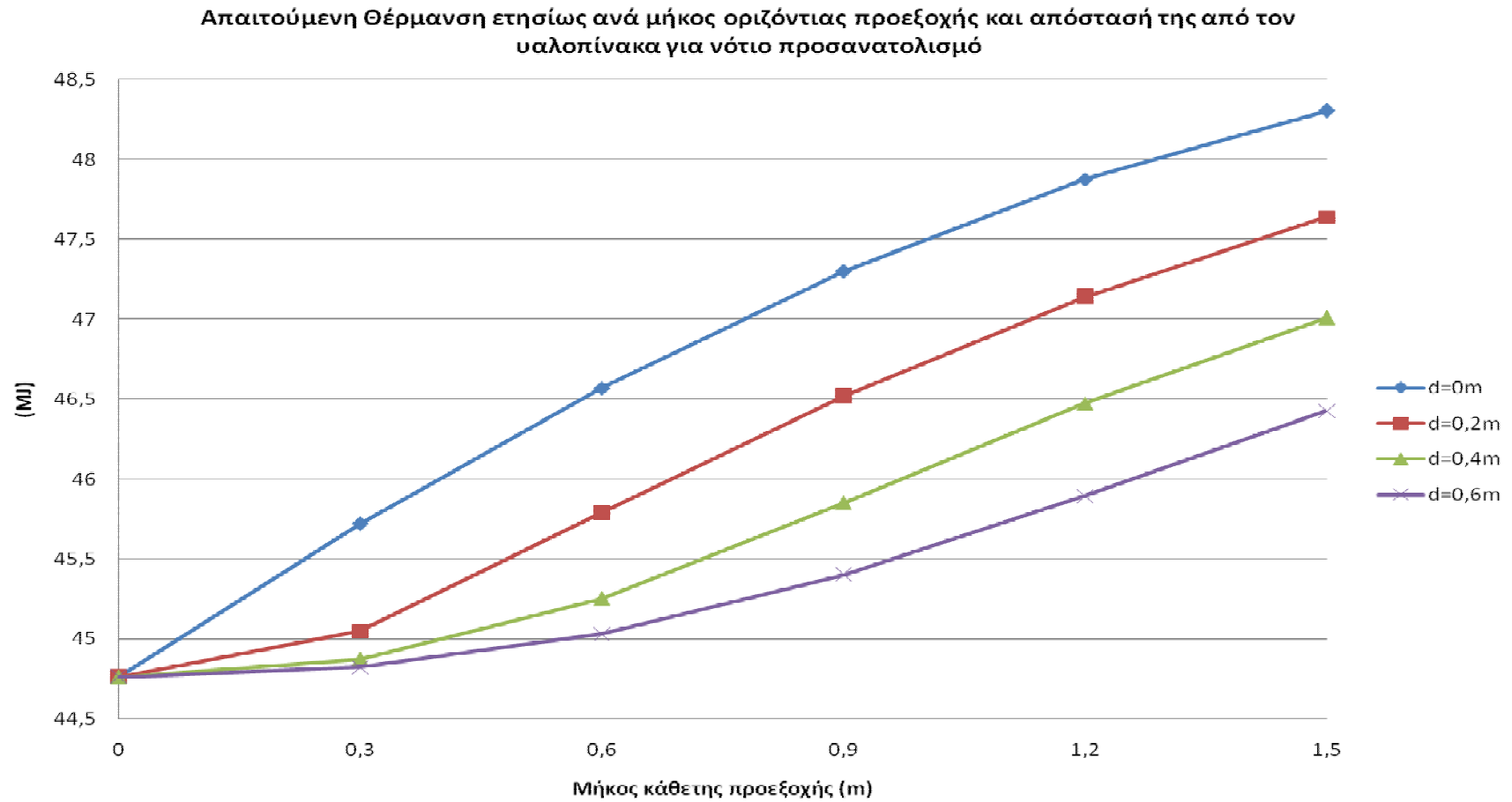


Εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία

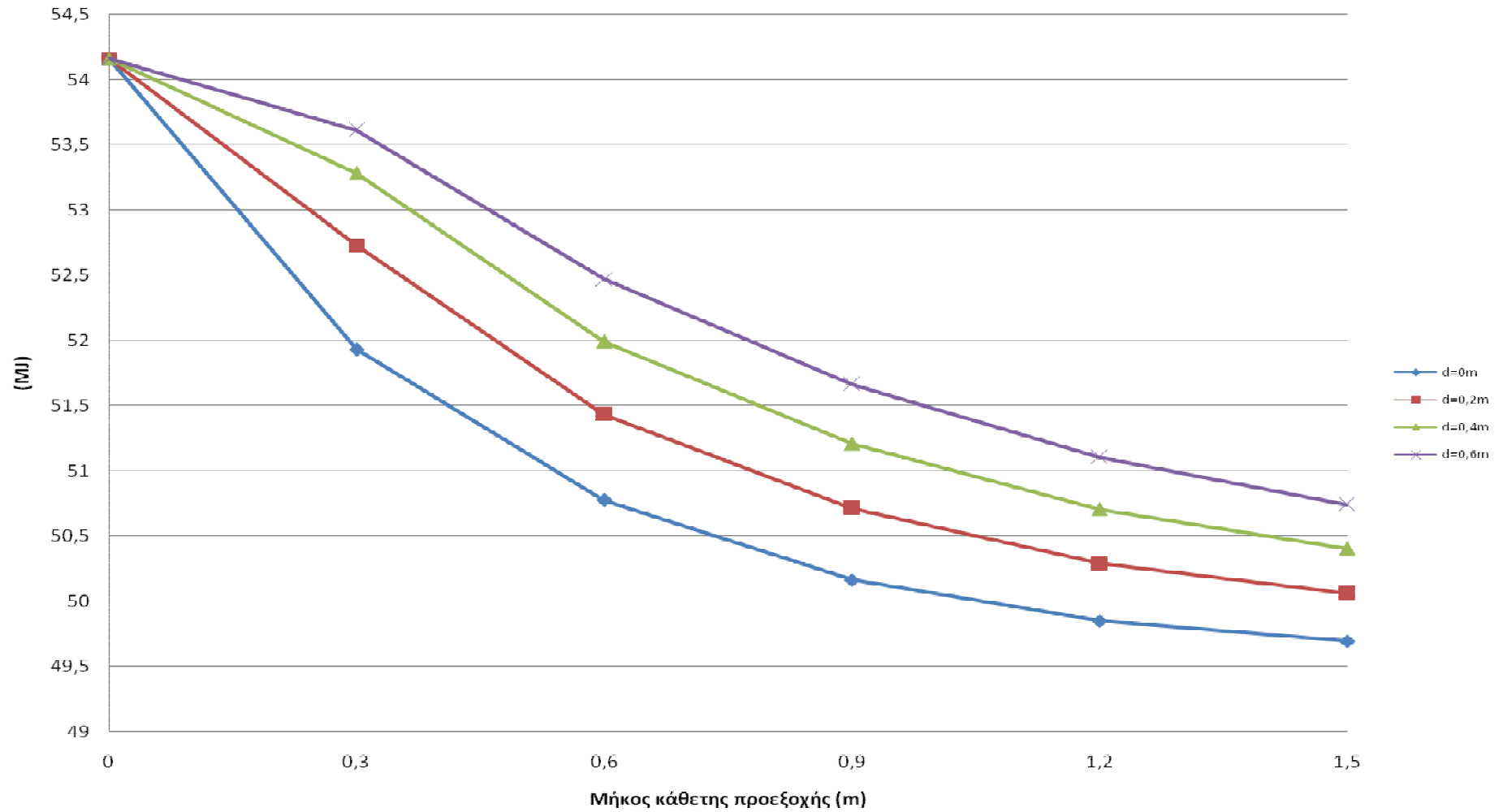


6. ΣΚΙΑΣΗ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΩΝ

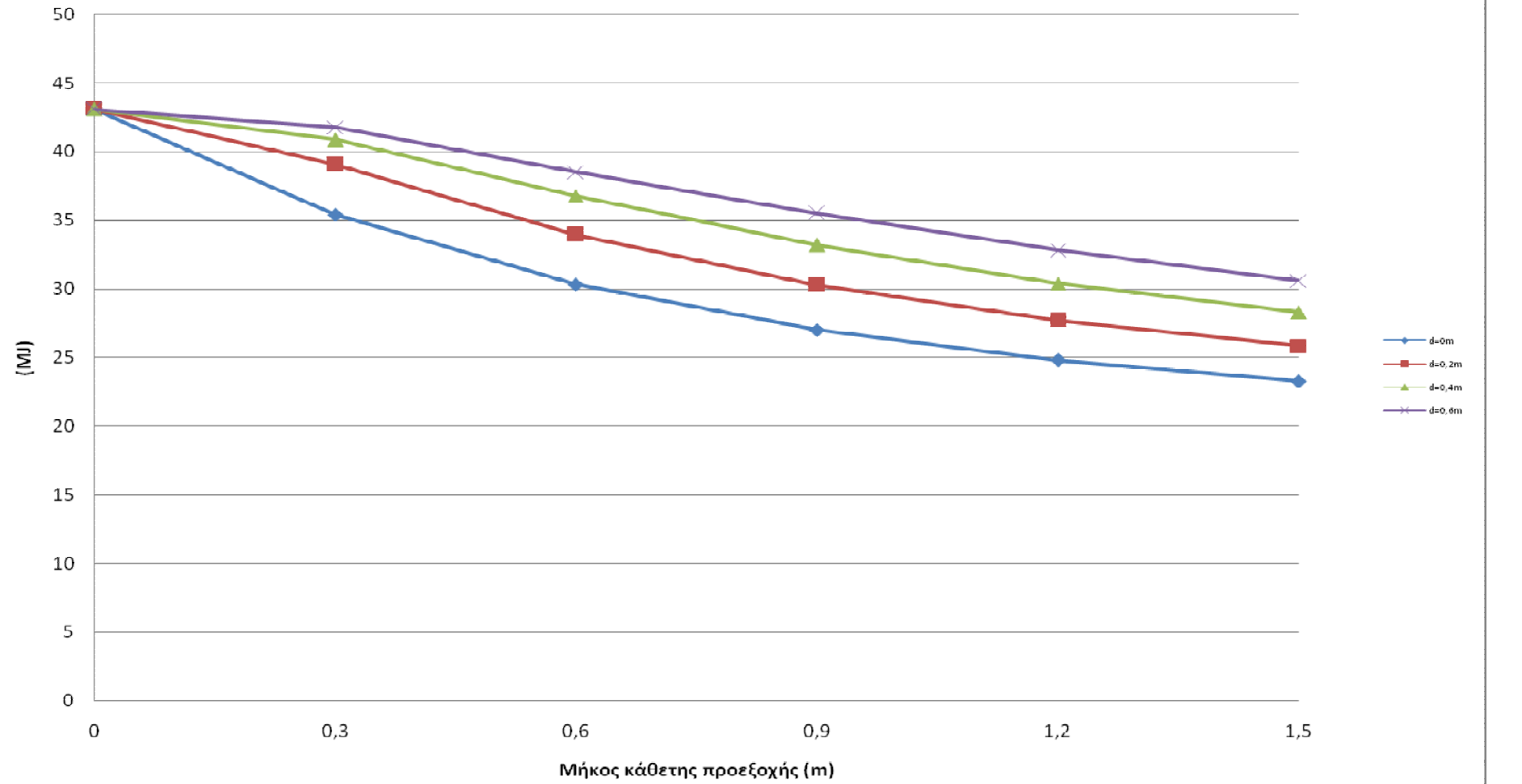
ι. ΣΤΑΘΕΡΗ ΣΚΙΑΣΗ

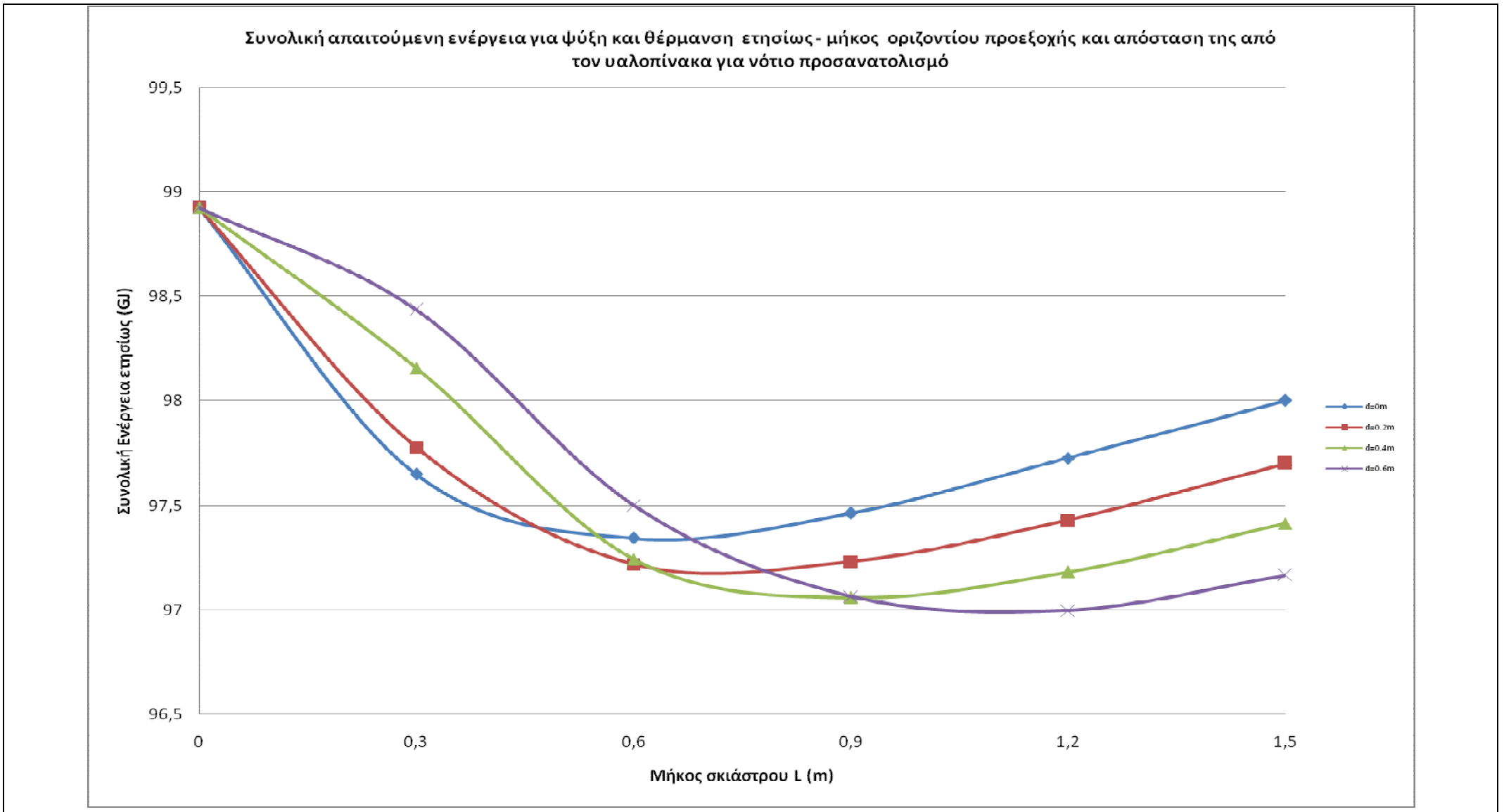


Απαιτούμενη Ψύξη ετησίως ανά μήκος οριζόντιας προεξοχής και απόστασή της από τον υαλοπίνακα για νότιο προσανατολισμό

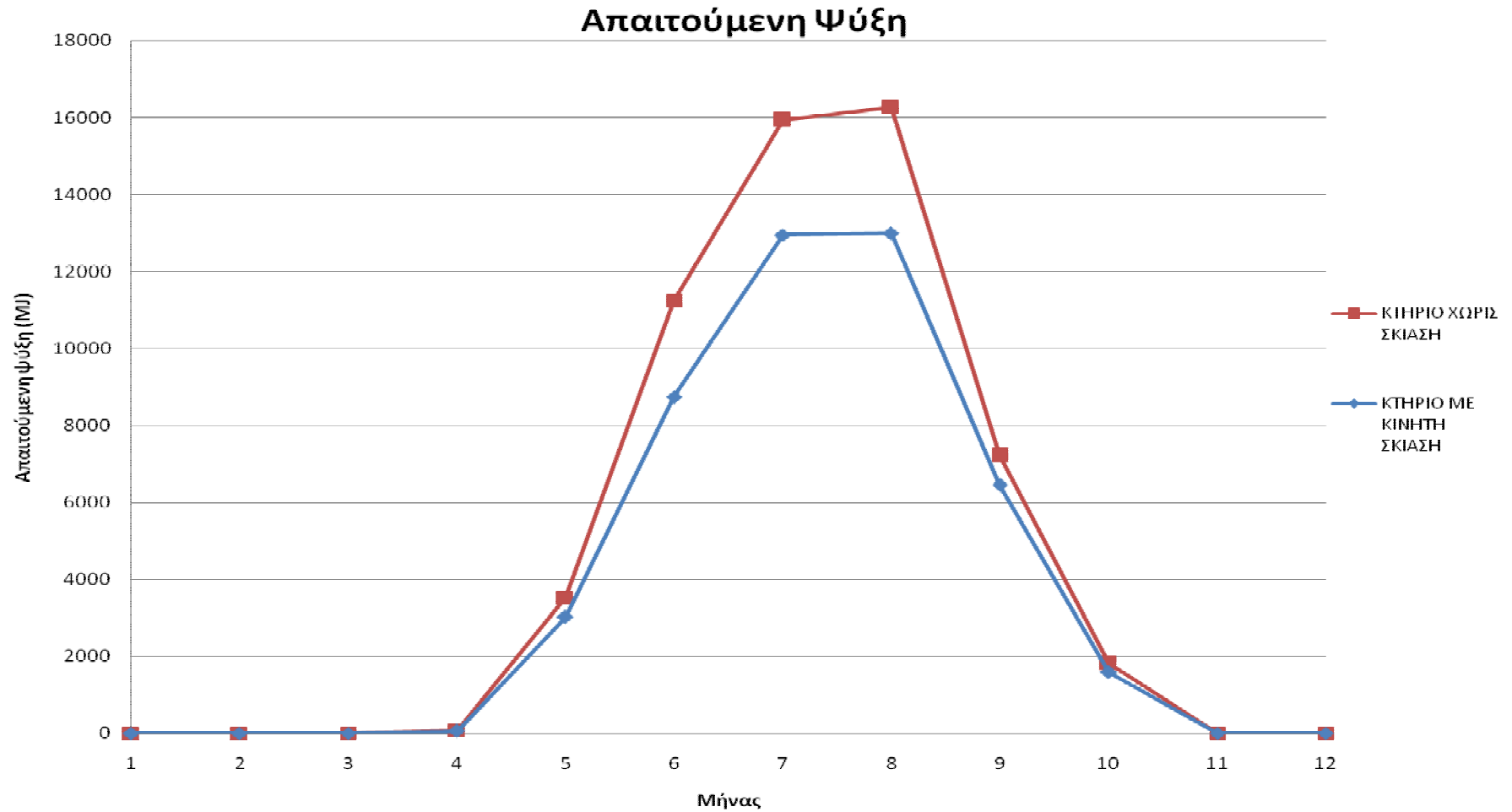


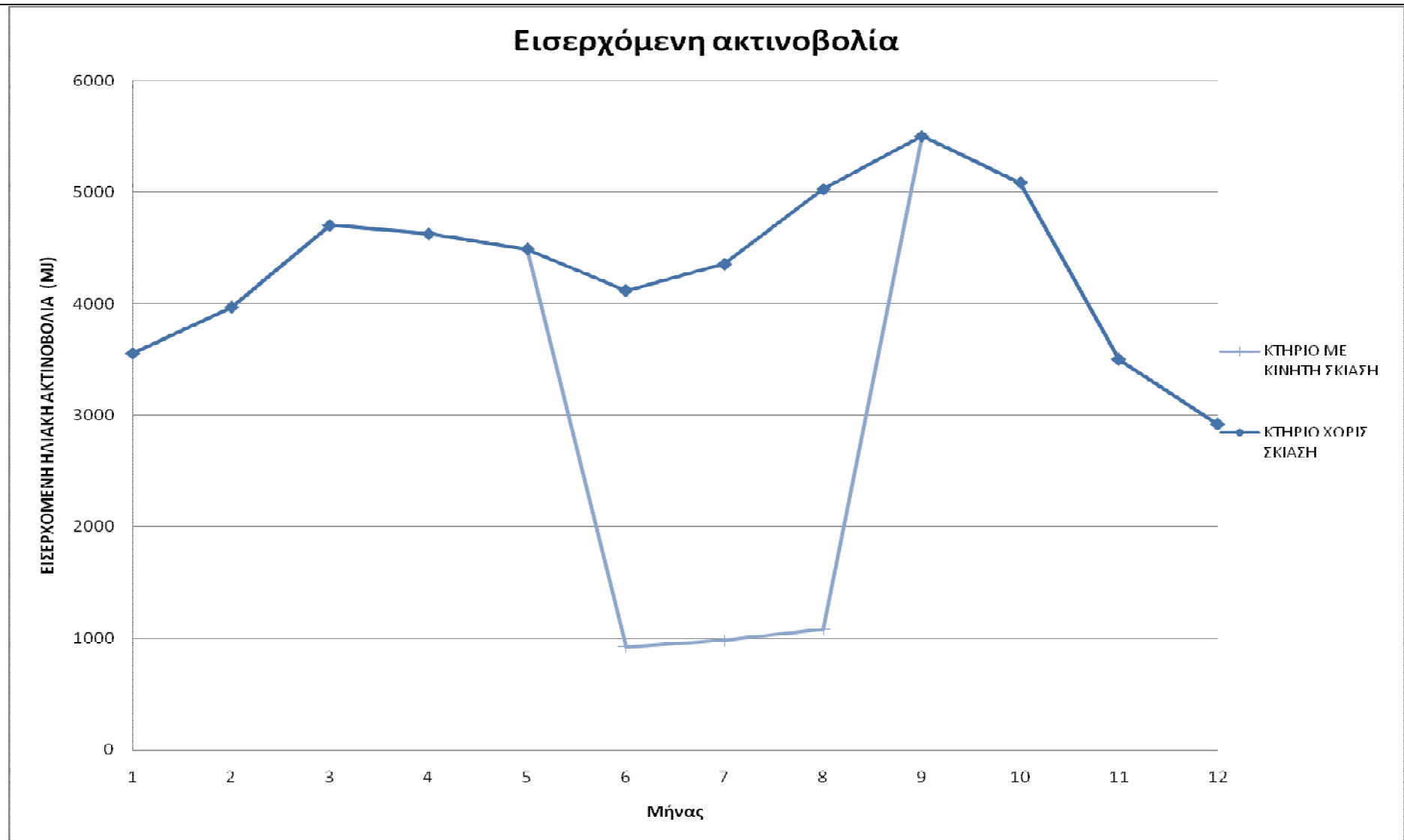
Εισερχόμενη Ηλιακή Ακτινοβολία ετησίως ανά μήκος οριζόντιας προεξοχής και απόστασή της από τον υαλοπίνακα για νότιο προσανατολισμό



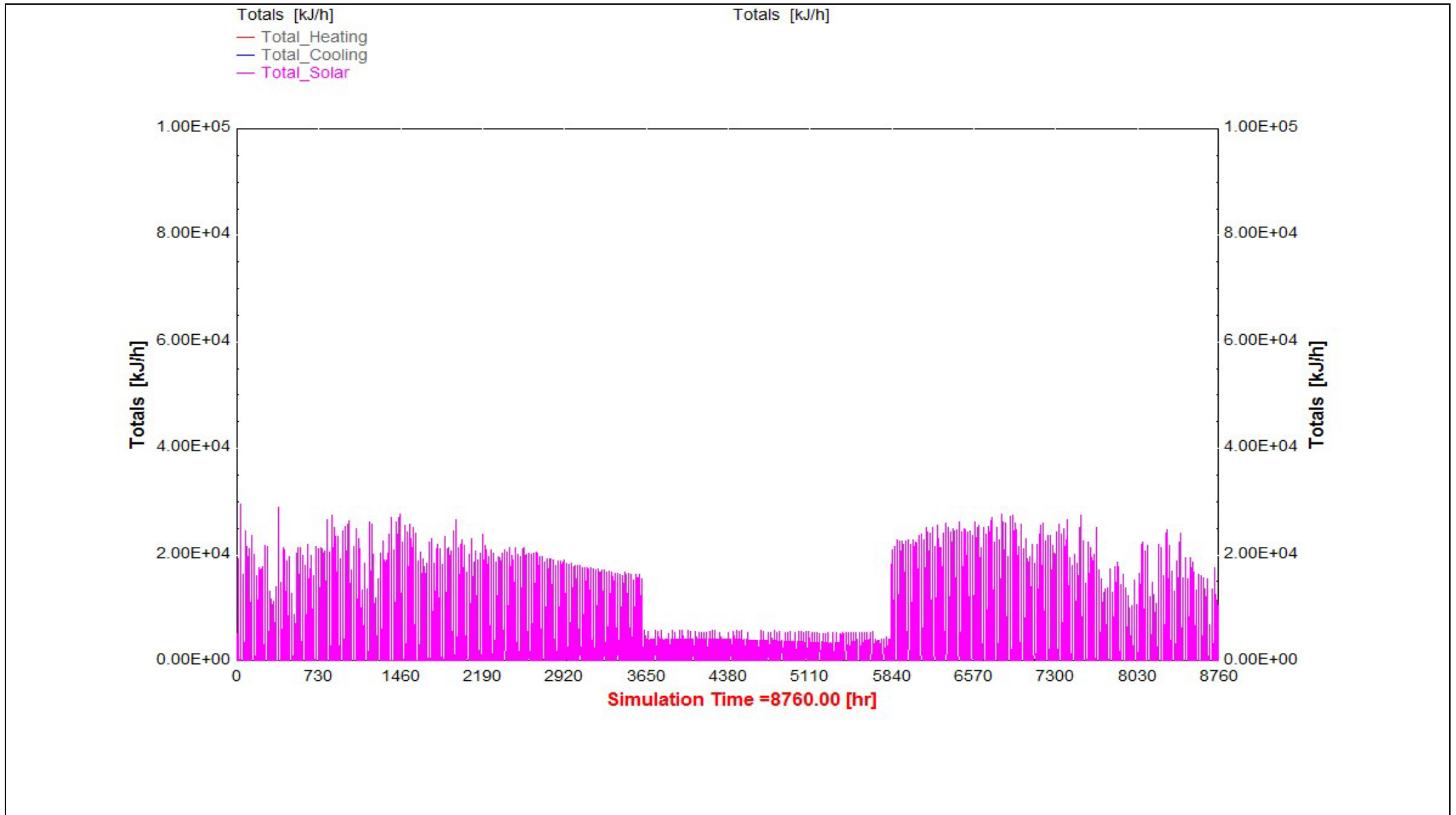


ii. ΚΙΝΗΤΗ ΣΚΙΑΣΗ

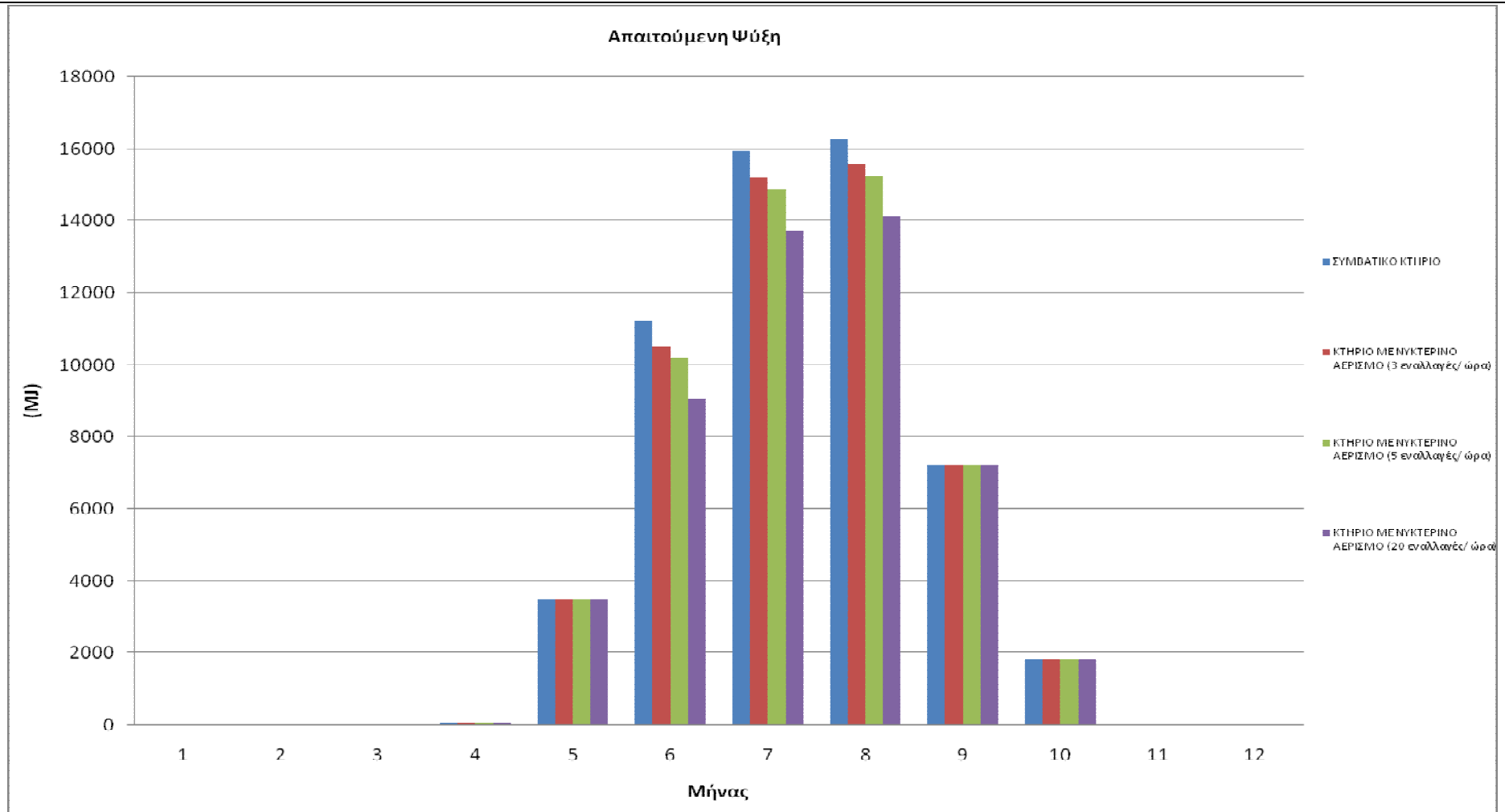




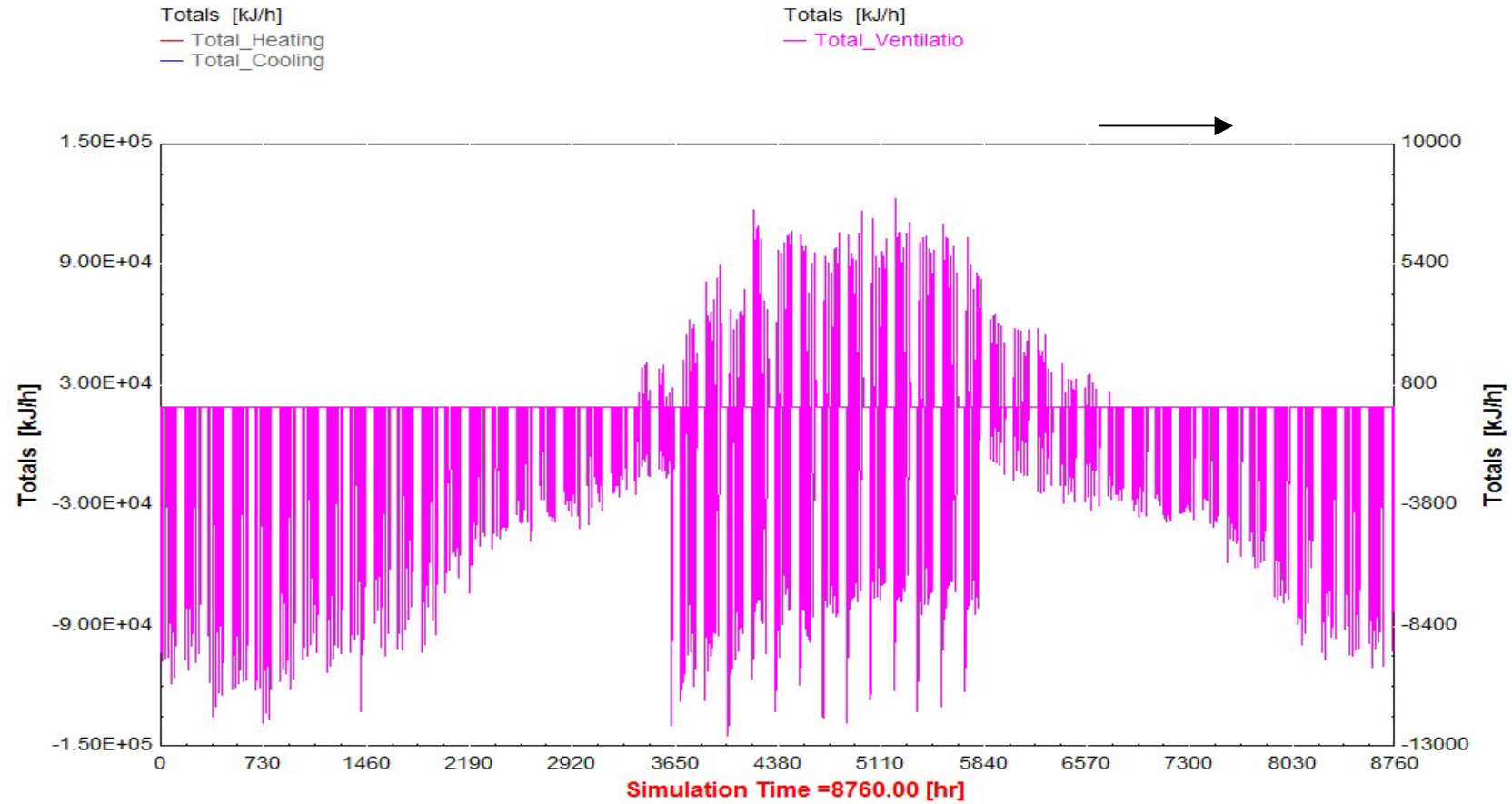
Εισερχόμενη Ηλιακή ακτινοβολία από το σύνολο των υαλοπινάκων του ορόφου



7. ΚΤΗΡΙΟ ΜΕ ΝΥΚΤΕΡΙΝΟ ΑΕΡΙΣΜΟ

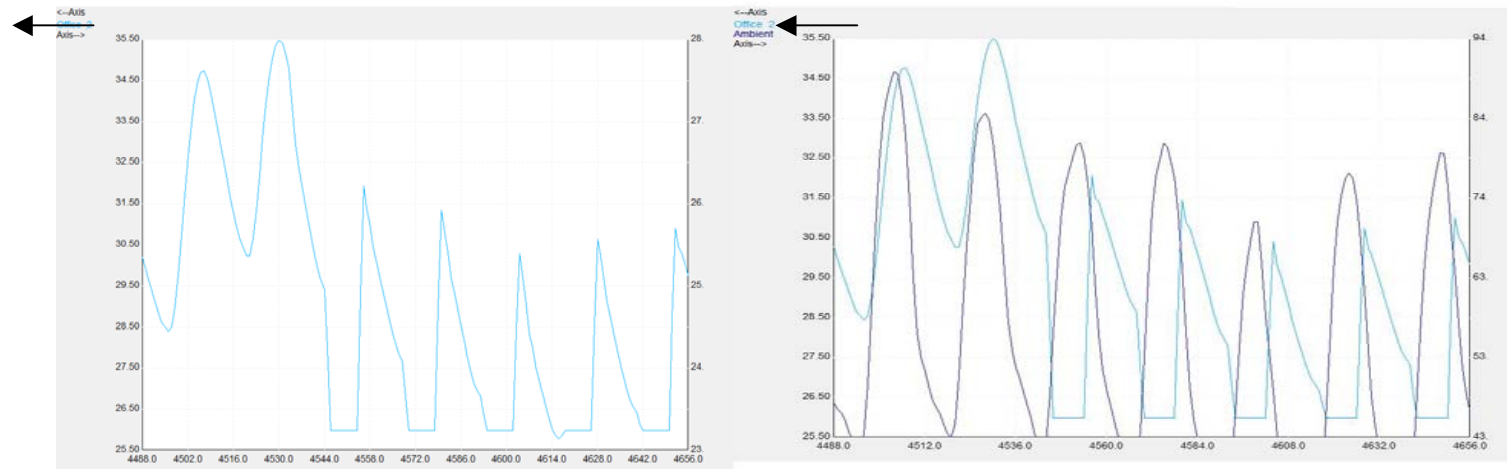


Φορτίο ανανέωσης αέρα για το σύνολο του ορόφου



Στη μέση του διαγράμματος διακρίνεται η λειτουργία του νυκτερινού αερισμού

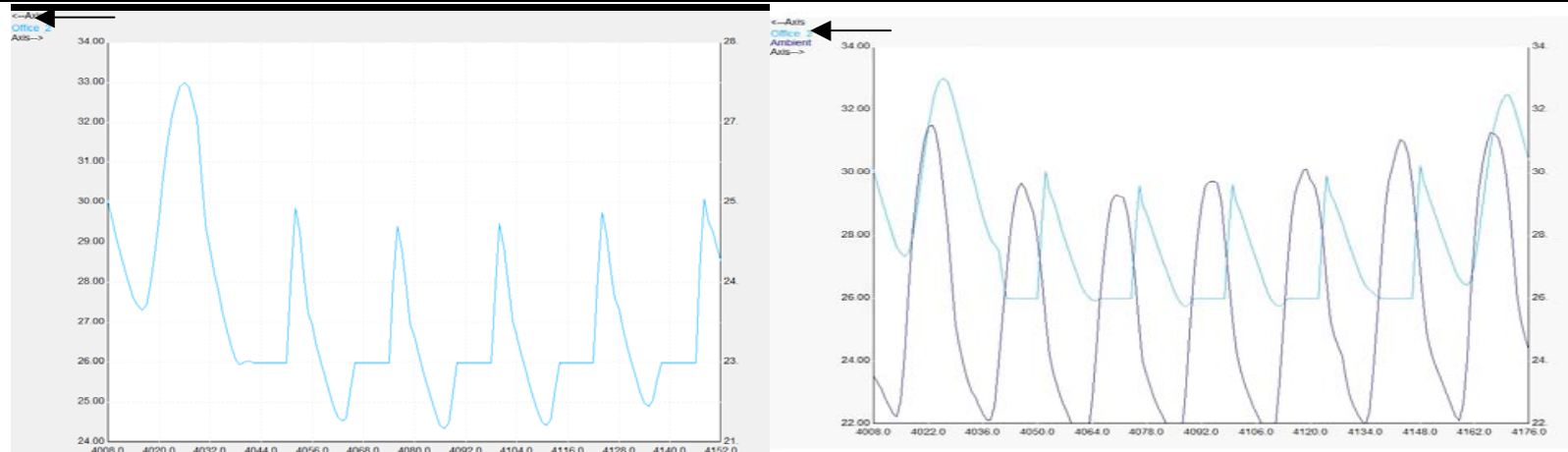
Θερμοκρασία στη ζώνη «γραφείο 2» στο κτήριο (α) με φυσικό αερισμό (3 εναλλαγές/ώρα) και (β) χωρίς νυκτερινό αερισμό



(α)

(β)

Θερμοκρασία στη ζώνη «γραφείο 2» στο κτήριο (α) με φυσικό αερισμό (5 εναλλαγές/ώρα) και (β) χωρίς νυκτερινό αερισμό

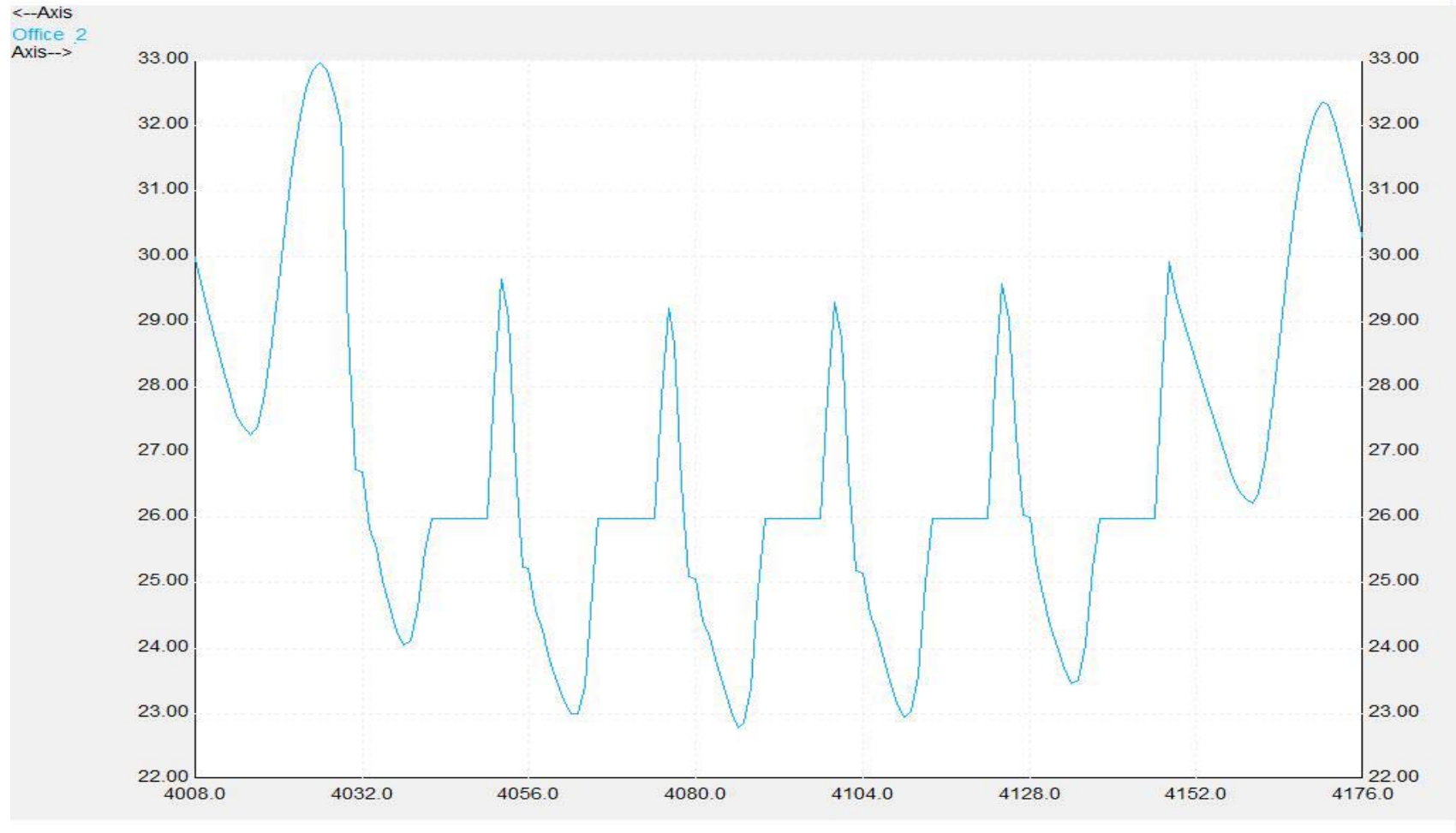


(α)

(β)

Διακρίνεται η επίδραση του νυκτερινού αερισμού στο κτήριο. Στα δεξιά διαγράμματα, εκτός της θερμοκρασίας στη ζώνη του νοτιοανατολικού γραφείου (γραφείο 2) δίνεται και η ατμοσφαιρική

Θερμοκρασία στη ζώνη «γραφείο 2» στο κτήριο με φυσικό αερισμό (20 εναλλαγές/ώρα)



ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ Ε.Μ.Π. ΜΕ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΜΕΤΕΟΝORM

