



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Διπλωματική εργασία με θέμα :

**Μελέτη της επίδρασης της θερμοχωρητικότητας
στη θερμική συμπεριφορά των κτιρίων με το
λογισμικό TRNSYS**

ΤΟΥΡΗΣ Δ.ΙΩΑΝΝΗΣ

Επιβλέπων Καθηγητής : Χρήστος Τζιβανίδης

ΑΘΗΝΑ, ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2014

Πίνακας περιεχομένων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
SUMMARY	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1.1 Ενέργεια και κτίριο σήμερα	6
1.2 Σκοπός της εργασίας	11
1.3 Δομή της εργασίας	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΨΥΞΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ	13
2.1 Μετάδοση θερμότητας	13
2.2 Ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων.....	14
2.2.1 Ηλιακή Ακτινοβολία	15
2.2.2 Υαλοπίνακες	16
2.3 Τρόποι θέρμανσης και ψύξης	19
2.3.1 Θέρμανση	19
2.3.2 Ψύξη	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΚΕΛΥΦΟΣ.....	34
3.1 Θερμική διαπερατότητα- Μόνωση	34
3.2 Θερμική Μάζα.....	41
3.2.1 Πλεονεκτήματα Θερμικής Μάζας	43
3.2.2 Θερμοχωρητικότητα δομικών στοιχείων	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ TRNSYS	45
4.1 Εισαγωγή στο TRNSYS	45
4.1.1 Ιστορική Αναδρομή	45
4.2 Simulation Studio (Στούντιο Προσομοίωσης)	46
4.2.1 Σύνοψη περιγραφή των παραθύρων του Στούντιο Προσομοίωσης.	47
4.3 Γραφικό περιβάλλον εισαγωγής στοιχείων κτιρίου (TRNBuild)	58
4.3.1 Εισαγωγή	58
4.3.2 Επεξεργασία στοιχείων του κτιρίου.....	58
4.4 Εφαρμογές TRNSED και TRNEdit.....	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	74
5.1 Τυπικό κτίριο	74
5.2 Θερμική μάζα κελύφους και φορτία.....	84
5.3 Επίδραση εσωτερικών τοίχων στην ημερήσια διακύμανση.....	87

5.4 Σύγκριση φορτίων για πραγματικές τοιχοποιίες	89
5.5 Επίδραση υαλοπινάκων στα φορτία.....	94
5.5.1 Κτίριο σε Ελλάδα	95
5.5.2 Κτίριο σε Σουηδία.....	99
5.6 Μελέτη κτιρίου χωρίς θέρμανση και κλιματισμό	102
5.7 Σύνοψη κεφαλαίου	113
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	114
6.1 Βασικά Συμπεράσματα εργασίας.....	114
6.2 Μελλοντική έρευνα.....	116
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	118

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Χρήστο Τζιβανίδη για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Ε. Μπέλλο για την καλή συνεργασία που είχαμε και για την καθοδήγηση που μου έδωσε. Τέλος, ευχαριστώ πολύ όλους όσους με στήριξαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία, μελετά την επίδραση της θερμικής μάζας του κτιρίου στα θερμικά και ψυκτικά του φορτία, καθώς και στο θερμοκρασιακό προφίλ της εσωτερικής θερμοκρασίας. Στόχος της έρευνας αυτής είναι να υπολογιστεί το πώς μεταβάλλονται τα φορτία καθώς τα δομικά στοιχεία του κτιριακού κελύφους αποκτούν διαφορετικές τιμές θερμικής μάζας. Έτσι δοκιμάστηκαν διάφοροι συνδυασμοί δομικών στοιχείων ώστε η ανάλυση να είναι πολύπλευρη και τα συμπεράσματα να μπορούν να γενικευτούν.

Στο 1^ο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται μια εισαγωγή στις ενεργειακές απαιτήσεις των κτιρίων σήμερα και επίσης περιγράφεται η δομή της εργασίας που ακολουθεί. Στο κεφάλαιο 2, αναφέρονται γενικά στοιχεία για την ενεργειακή ανάλυση των κτιρίων τα οποία βοηθούν τον αναγνώστη να κατανοήσει έννοιες οι οποίες θα αναφερθούν στην ανάλυση που ακολουθεί. Αναφέρονται επίσης οι τρόποι με τους οποίους μπορεί ένα κτίριο να θερμανθεί αποδοτικά και να κλιματιστεί με έμφαση σε νέες τεχνολογίες. Στο 3^ο κεφάλαιο, αναλύονται έννοιες οι οποίες σχετίζονται με τη δομή του κτιριακού κελύφους όπως η θερμοπερατότητα των τοίχων και τα μονωτικά υλικά, ώστε να γίνει κατανοητή η μεθοδολογία που ακολουθείται στη συνέχεια. Επίσης σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται η έννοια της θερμικής μάζας και της θερμοχωρητικότητας οι οποίες είναι οι βασικές έννοιες που χρειάζεται να κατανοήσει ο αναγνώστης. Το επόμενο κεφάλαιο που ακολουθεί είναι το κεφάλαιο 4^ο, στο οποίο γίνεται εκτενής αναφορά στο λογισμικό που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση που γίνεται. Πρόκειται για το εμπορικό πακέτο TRNSYS 16 το οποίο χρησιμοποιείται ευρύτατα για κτιριακές προσομοιώσεις και μπορεί να προσφέρει μεγάλες δυνατότητες στο χρήστη. Έτσι παρουσιάζονται τα βασικά κομμάτια αυτού του λογισμικού ώστε να γίνεται μια εισαγωγή στον αναγνώστη και να του δίνονται οι βάσεις για να το χρησιμοποιήσει και ο ίδιος.

Το κεφάλαιο 5, αποτελεί το πυρήνα της διπλωματικής εργασίας, διότι παρουσιάζει τις προσομοιώσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν, καθώς και τα αποτελέσματα αυτών. Είναι ένα εκτενές κεφάλαιο στο οποίο αναλύεται επαρκώς η επίδραση της θερμικής μάζας του κτιρίου στη θερμική του συμπεριφορά. Πιο συγκεκριμένα, γίνονται προσομοιώσεις μεταβάλλοντας το πάχος των εξωτερικών τοίχων, τα υλικά αυτών καθώς και την ειδική θερμοχωρητικότητα των υλικών αυτών. Επίσης γίνεται ανάλυση για την επίδραση των εσωτερικών τοίχων στην ημερήσια διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας και μελετάται η επίδραση των υαλοπινάκων στα φορτία θέρμανσης και κλιματισμού. Το τελευταίο κεφάλαιο αυτής της εργασίας (κεφάλαιο 6) παραθέτει τα συμπεράσματα τα οποία συνοψίζουν τη δουλειά που πραγματοποιήθηκε. Τα γενικότερα συμπεράσματα είναι πως η αύξηση της θερμοχωρητικότητας μειώνει τα φορτία και βοηθά στη θερμική άνεση του χώρου περισσότερο τους χειμερινούς μήνες. Τέλος αναφέρονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα πάνω σε αυτή τη περιοχή μελέτης.

SUMMARY

This diploma thesis studies the effect of thermal mass of building in the heating and cooling loads, as also in the internal air temperature. The goal of this study is the calculation of loads for different structural components of building as these gain different values of thermal mass. This is why many combinations of materials were tested in order to make general conclusions.

In the first unit, an introduction in energy needs of a building nowadays is made and simultaneously the structure of this dissertation is described. In the second unit, general information about the energy analysis of buildings is presented in order to help the reader to understand these useful meanings. Moreover, an inference in new ways of heating and cooling is made. In the third unit, meanings related to building structure are analyzed, as the thermal resistance and the insulation. Also the thermal mass of the building and the specific thermal capacity, which are important properties, are presented to help the reader. The next unit presents TRNSYS 16, which is the program that was used for the energy calculations. The basic components of this are described giving an introduction to the program.

The unit 5 is the core of this thesis because all the cases and their results are presented. This is an extensive unit where the effect of thermal mass in building thermal behavior is adequately analyzed. More specifically, simulations for different external walls are made by changing the materials, the thickness, the layers and the thermal capacity. Also, in this study the effect of internal walls in the building's internal temperature is analyzed and the use of glass in the external walls is parametrically studied concerning the effects on the loads of buildings. In the last unit, the conclusions of this work are presented. The basic conclusions show that the increase of the thermal mass decreases the loads and improves the thermal behavior, especially in the winter. Finally, ideas for future research in this area are given.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ενέργεια και κτίριο σήμερα

Στις μέρες μας, έχει παρατηρηθεί μία έντονη αύξηση του ενδιαφέροντος του πληθυσμού παγκοσμίως, για την κλιματική αλλαγή και την ενεργειακή κατάσταση. Η συνεχώς αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας και η αύξηση της μόλυνσης του περιβάλλοντος σε συνδυασμό με το στόχο της βιώσιμης ανάπτυξης (διατήρηση βιοτικού επιπέδου με ταυτόχρονη εξοικονόμηση ενέργειας) έχουν αποκτήσει ύψιστη σημασία. Η επίλυση τους είναι αναγκαία και αποτελεί προτεραιότητα της διεθνούς κοινότητας. Τα παραπάνω οφείλονται κατά κύριο λόγο στην αλόγιστη χρήση υδρογονανθράκων. Έτσι, θεωρείται επιτακτική ανάγκη η μείωση των εκπομπών CO₂ προς την ατμόσφαιρα. Η επίλυση του ενεργειακού προβλήματος μπορεί να επιτευχθεί μέσω της μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας, κυρίως μέσω της ορθολογικής χρήσης συμβατικών καυσίμων, όμως η δυσκολία έγκειται στα χαμηλά αποθέματα πετρελαίου, φυσικού αερίου και λιθάνθρακα καθώς και στη συνεχή αύξηση του βιοτικού επιπέδου, που έχει ως αποτέλεσμα τον πολλαπλασιασμό των **ενεργειακών απαιτήσεων**. Μάλιστα εκτιμάται ότι τα αποθέματα των πηγών αυτών θα επαρκέσουν ακόμα για 50, 60 και 200 χρόνια αντιστοίχως. Τα συμβατικά καύσιμα, παρά την μεγάλη συμβολή τους στην ανάπτυξη της τεχνολογίας και τη βελτίωση της ζωής του ανθρώπου, συνδέονται άμεσα με πολύ σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα [1] .

Στόχος της επιστημονικής κοινότητας είναι να εξοικονομηθεί ενέργεια σε όλους τους τομείς, χωρίς να μειωθεί το επίπεδο διαβίωσης. Αυτό μπορεί να συμβεί μέσα από την ορθολογική χρήση της ενέργειας και την εκμετάλλευση νέων συστημάτων, τεχνολογιών, υλικών και **Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας** (ΑΠΕ). Στόχος είναι δηλαδή η μετάβαση από την εποχή του άνθρακα στην ενεργειακή επανάσταση με νέες τεχνολογίες και μεθόδους παραγωγής και διαχείρισης ενέργειας [2] .

Ο όρος ανανεώσιμες ή ήπιες μορφές ενέργειας αφορά δυο κύρια χαρακτηριστικά τους. Αρχικά, για την εκμετάλλευση τους δεν χρειάζεται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, καύση κλπ., όπως με τα ήδη χρησιμοποιούμενα καύσιμα. Το μόνο που χρειάζεται είναι η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Επίσης, αυτές οι μορφές ενέργειας είναι πολύ φιλικές στο περιβάλλον και δεν εκλύουν υδρογονάνθρακες, ραδιενεργά απόβλητα και διοξείδιο του άνθρακα όπως πολλές από τις συμβατικές πηγές. Μία “εύκολη” λύση θα ήταν η αντικατάσταση των συμβατικών πηγών από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως αυτές του ηλίου και του ανέμου. Δεν έχουν αναπτυχθεί ιδιαίτερα όμως ως τώρα λόγω της υψηλής μέχρι προσφάτως τιμής των νέων ενεργειακών εφαρμογών, των τεχνικών προβλημάτων εφαρμογής καθώς και πολιτικών και οικονομικών σκοπιμοτήτων που έχουν να κάνουν με τη διατήρηση του παρόντος status quo στον ενεργειακό τομέα. Όλα αυτά εμπόδισαν την εκμετάλλευση έστω και μέρους αυτού

του δυναμικού. Επίσης, κύριο μειονέκτημα των ΑΠΕ είναι ο χαμηλός βαθμός απόδοσης τους (περί το 30%) που αποτρέπει τη χρήση τους σε μεγάλα αστικά κέντρα εξαιτίας των τεράστιων ενεργειακών αναγκών που έχουν [3] .

Έτσι, οι ΑΠΕ, αν και παρουσιάζουν αυξημένο ενδιαφέρον και θα διαδραματίσουν μείζονα ρόλο στη λύση του παγκόσμιου ενεργειακού προβλήματος τις επόμενες δεκαετίες, δεν αποτελούν βασική λύση στο ενεργειακό πρόβλημα. Η κατανάλωση ενέργειας συνεχίζει να αυξάνει και μάλιστα με αμείωτους ρυθμούς. Αυτό οφείλεται στην αλόγιστη χρήση της καθώς και στην αυξανόμενη ζήτηση της λόγω της τεχνολογικής και οικονομικής ανάπτυξης.

Όμως, η αυξανόμενη καταναλισκόμενη ενέργεια έχει σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η θερμική ρύπανση, η ρύπανση του αέρα, η αλλαγή μικροκλίματος και η μόλυνση του νερού είναι ορισμένες μόνο συνέπειες που απασχολούν την ανθρωπότητα. Επίσης, τα βασικά περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλούνται είναι η όξινη βροχή και το γνωστό σε όλους φαινόμενο του θερμοκηπίου. Έτσι, ενώ η ανησυχία μέχρι πριν λίγα έτη αφορούσε μόνο μερικούς οικολόγους, στην εποχή μας αποτελεί προβληματισμό για το σύνολο της πολιτείας.

Στην κατεύθυνση της περιβαλλοντικής προστασίας μέσω της ορθής κατανάλωσης ενέργειας κινείται και η Ευρωπαϊκή Ενεργειακή Στρατηγική με κύρια θέματα της, την ενεργειακή ασφάλεια, την κλιματική αλλαγή και τις τιμές των ενεργειακών προϊόντων. Επίκεντρο της ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής είναι ο στόχος του “πακέτου 20-20-20” δηλαδή παραγωγή του 20% της ενέργειας από ΑΠΕ, 20% μείωση των εκλυόμενων ρύπων και 20% εξοικονόμηση ενέργειας μέχρι το 2020 [4] .

Το ενδιαφέρον για τα παραπάνω ζητήματα γίνεται εντονότερο στον τομέα των κτιρίων, καθώς όπως είναι εύκολα αντιληπτό τα κτίρια έχουν μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις. Ειδικότερα οι ενεργειακές απαιτήσεις των κτιρίων έχουν αυξηθεί κατά πολύ τα τελευταία έτη λόγω της διαρκούς οικονομικής και τεχνολογικής ανάπτυξης. Μάλιστα, η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας των κτιρίων είναι και ποσοτική, δηλαδή χρειάζονται περισσότερη ενέργεια σαν απόλυτο μέγεθος, και ποιοτική, διότι χρησιμοποιείται περισσότερος ηλεκτρισμός για τον κλιματισμό των κτιρίων.

Ένα ακόμη στοιχείο που μαρτυρά πως η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια είναι μείζονος σημασίας για την επίλυση του ενεργειακού προβλήματος, είναι το ποσοστό της συνολικά παραγόμενης ενέργειας που αντιστοιχεί στον κτιριακό τομέα. Το ποσοστό αυτό είναι περίπου 35%. Παράλληλα, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τα κτίρια αντιστοιχεί στο 45% των συνολικών εκπομπών, άρα ο στόχος του περιορισμού της καταναλισκόμενης ενέργειας γίνεται επιτακτικός [5] .

Τα κτίρια λοιπόν, απαιτούν μεγάλα ποσά ενέργειας για τη λειτουργία τους, η οποία χωρίζεται σε: θέρμανση, ψύξη, φωτισμό, ζεστό νερό και λειτουργία συσκευών. Στην Ελλάδα η θέρμανση, παρά το εύκρατο κλίμα της χώρας καταλαμβάνει το 69%, η ενέργεια για το ζεστό νερό 13% και ηλεκτρικές συσκευές, φωτισμός και ψύξη το 18%. Αυτή η σημαντική διαφορά στις ποσοστιαίες ανάγκες ενέργειας, οφείλεται στην έλλειψη θερμικής προστασίας των κτιρίων που οδηγεί σε δυσανάλογη κατανάλωση ενέργειας, ώστε να επιτευχθεί θερμική άνεση [6].

Πέρα από την Ελλάδα, υπολογίζεται πως στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης η δαπάνη της συνολικής παραγόμενης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη των κτιρίων ανέρχεται στο 41% της συνολικής, ενώ σε χώρες της πρώην ανατολικής Ευρώπης σε 49% [7].

Η τελική ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι της τάξης των 350 Mtoe ανά έτος, χωρίς να υπολογίζεται η συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το μεγαλύτερο μέρος της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων καλύπτεται από το φυσικό αέριο, 116 Mtoe, το πετρέλαιο 99 Mtoe, τον ηλεκτρισμό 91 Mtoe, και τα στερεά καύσιμα με 11 Mtoe [7].

Το ζήτημα της ενεργειακής κατανάλωσης στα κτίρια και η σπουδαιότητα του φαίνεται και από το γεγονός, ότι ιδίως στα μεγάλα αστικά κέντρα ο μέσος κάτοικος βιώνει το 80% της ζωής του εντός κτιρίων. Γίνεται άμεσα αντιληπτή η επίδραση του εσωτερικού κλίματος, τόσο στην υγεία και την άνεση, όσο και στην παραγωγικότητα του μέσου κατοίκου ή εργαζόμενου [7].

Παράλληλα, η αύξηση της θερμοκρασίας στις μεγαλουπόλεις έχει συντελέσει στην δραματική αύξηση της απαιτούμενης ενέργειας για τον δροσισμό των κτιρίων κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η απαιτούμενη ενέργεια για τον δροσισμό ενός κτιρίου στο κέντρο της Αθήνας είναι σχεδόν διπλάσια από την απαιτούμενη στην περιφέρεια της πόλης. Ακόμη, οι υψηλές εκπομπές των σύγχρονων οικοδομικών υλικών, έχουν αυξήσει την συγκέντρωση ρυπαντών στο εσωτερικό των κτιρίων με οδυνηρά αποτελέσματα στην υγεία των ενοίκων. Μετρήσεις σε κτίρια γραφείων και νοσοκομεία στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών έδειξαν ιδιαίτερα αυξημένες συγκεντρώσεις ρύπων στο εσωτερικό των κτιρίων καθώς και αυξημένα ποσοστά παθολογίας των ενοίκων.

Για να γίνουν περισσότερο κατανοητά τα παραπάνω ζητήματα, αξίζει να αναφερθεί πως η κατανάλωση τελικής ενέργειας στην Ελλάδα ήταν σταθερή την περίοδο 1990-1994 και η ποσότητα κατανάλωσης ήταν στα 15 Mtoe. Μεταξύ των ετών 1995-1996 η κατανάλωση τελικής ενέργειας αυξήθηκε κατά 6,5%, ενώ από τότε ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης είναι γύρω στο 2,5%. Συνολικά, η κατανάλωση τελικής ενέργειας αυξήθηκε κατά 50% περίπου, την περίοδο 1990-2006, κυρίως ως

συνέπεια της οικονομικής ανάπτυξης. Όσον αφορά τα κτίρια, η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων στην Ελλάδα, είναι της τάξης των 4,6 Mtoe, και αντιστοιχούν 0,55 Mtoe ενέργειας ανά κάτοικο το έτος. Η διαχρονική μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων στην Ελλάδα είναι καθαρά αυξητική και ο ετήσιος ρυθμός αύξησης της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων είναι περίπου 4,5 %, μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο ρυθμό αύξησης της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας της χώρας (2,5%) [8] .

Όπως ειπώθηκε πιο πάνω, η θέρμανση καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό από όλες τις επιμέρους ενεργειακές καταναλώσεις των κτιρίων . Το γεγονός αυτό οφείλεται σε μια σειρά από παραμέτρους, που σχετίζονται με το πλήθος των εγκαταστημένων συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού, το είδος της προστασίας των κτιρίων κατά την διάρκεια του χειμώνα και του θέρους, καθώς και στο γεγονός ότι για τον δροσισμό των χώρων χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια και συσκευές με συντελεστή απόδοσης κατά πολύ μεγαλύτερο της μονάδας. Όσον αφορά τον συντελεστή απόδοσης των ψυκτικών συσκευών και τη σύγκριση του με των αντίστοιχων για θέρμανση, θα παρουσιαστούν συγκεκριμένα αποτελέσματα-συγκρίσεις παρακάτω στην παρούσα διπλωματική εργασία, που έγιναν κατά τη διάρκεια των προσομοιώσεων. Μία ρεαλιστική εικόνα της πραγματικής σημασίας των επιμέρους καταναλώσεων δίδεται στον παρακάτω πίνακα όπου υπάρχουν ταυτόχρονα συστήματα θέρμανσης και δροσισμού. Οι μετρήσεις έγιναν σε διάφορους τύπους κτιρίων [7] .

Πίνακας 1.1 : Μέση Ενεργειακή κατανάλωση διαφόρων τύπων κτιρίων ανά είδος χρήσης. Όλες οι τιμές είναι σε kWh ανά τετραγωνικό μέτρο το χρόνο.

Τύπος κτιρίου	Δροσισμός	Θέρμανση	Φωτισμός	Συσκευές	Σύνολο
Γραφεία	24	95	20	48	187
Εμπορικά	18	74	19	41	152
Σχολεία	2	66	16	8	92
Νοσοκομεία	3	299	52	53	407
Ξενοδοχεία	11	198	24	40	273

Επίσης, ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η μεγαλύτερη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα αφορά τον οικιακό και εν συνεχεία τον τριτογενή τομέα. Η βιομηχανία που ήταν ο κυριότερος καταναλωτής έχει υποχωρήσει στην τρίτη θέση.

Συγκεκριμένα, ο οικιακός τομέας το 2006 ήταν στην κορυφή της κατανάλωσης ενέργειας με ετήσια κατανάλωση 177 TWh, δηλαδή αύξηση της τάξης του 95% σε σχέση με το 1990. Στη 2^η θέση ο τριτογενής τομέας με 175 TWh για το έτος 2006, σημειώνοντας αύξηση 215%, ενώ η βιομηχανία αν και έπεσε στην 3^η θέση παρουσίασε και αυτή αύξηση του 24% με τις 15 TWh του 2006 [7] .

Παράλληλα, στη χώρα μας τα παραπάνω ποσοστά δεν οφείλονται μόνο στην τεχνολογική και οικονομική ανάπτυξη που συνετελέσθη τις τελευταίες δεκαετίες, αλλά και στην πλήρη αδιαφορία που μας διακατέχει σαν λαός ειδικά σε τομείς όπως η προστασία του περιβάλλοντος και η ορθολογική χρήση της ενέργειας. Αποτέλεσμα όλων αυτών, το σοβαρό ενεργειακό πρόβλημα που υφίσταται η Ελλάδα, με συνέπειες στην υγεία των κατοίκων ή των εργαζομένων.

Το θέμα αφορά και το κόστος λειτουργίας των κτιρίων αφού έχουν επιδεινωθεί τα φορτία αιχμής τόσο τους καλοκαιρινούς μήνες όσο και τους χειμερινούς, για το δροσισμό και την θέρμανση αντιστοίχως.

Όπως παρατηρείται, τα παραπάνω ποσά είναι πολύ μεγάλα με άμεσες συνέπειες στις ζωές όλων, τόσο στον τομέα του περιβάλλοντος και της υγείας όσο και στον τομέα της οικονομίας, με αποτέλεσμα να είναι επιβεβλημένη η άμεση εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας (ΜΕΕ) για την μείωση των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων.

Πρωταρχικό στόχο του ενεργειακού σχεδιασμού των κτιρίων αποτελεί η επίτευξη θερμικής και οπτικής άνεσης εντός των χώρων με παράλληλη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας. Η θερμική άνεση έχει να κάνει με το ενεργειακό ισοζύγιο των ενοίκων, όπου θετικό θερμικό ισοζύγιο αντιστοιχεί σε θερμική δυσφορία, ενώ αρνητικό ισοζύγιο σημαίνει αίσθημα κρύου. Όταν το φυσικό περιβάλλον δεν εξασφαλίζει την θερμική ουδετερότητα των ενοίκων είναι επιβεβλημένη η πρόσθεση ή αφαίρεση θερμότητας από τον χώρο. Η οπτική άνεση επιτυγχάνεται όταν εξασφαλιστούν κάποιες προϋποθέσεις, όπως η αποφυγή οπτικής θάμβωσης, η οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον και η επίτευξη των αναγκαίων φωτιστικών επιπέδων για το είδος των εργασιών που επιτελούνται στον εκάστοτε χώρο.

Βασική επιδίωξη της ενεργειακής βελτιστοποίησης των κτιρίων είναι η διατήρηση του ενεργειακού ισοζυγίου του χώρου σε χαμηλά και αν είναι δυνατόν σε μηδενικά επίπεδα. Η εισαγωγή θερμομόνωσης στα κτίρια είχε σημαντική επίδραση στα θερμικά φορτία των κτιρίων τα τελευταία έτη, αλλά ο ρυθμός του ενεργειακού ισοζυγίου παρέμενε αυξανόμενος. Για αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές, τεχνολογίες και μέθοδοι με κατεύθυνση την εξοικονόμηση ενέργειας και την επίτευξη θερμικής άνεσης.

Πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό για τη διατήρηση της ισορροπίας εσωτερικών-εξωτερικών κερδών ενέργειας και ενεργειακών απωλειών αποτελεί το κέλυφος του κτιρίου καθώς και όλα τα επιμέρους χαρακτηριστικά του. Η ενεργειακή ισορροπία εξαρτάται εν τέλει σε μεγάλο βαθμό, από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του κελύφους, δηλαδή την θερμοπερατότητα (U-value) και την θερμική μάζα των δομικών στοιχείων.

1.2 Σκοπός της εργασίας

Οι καθημερινές μεταβολές της εξωτερικής θερμοκρασίας μπορούν να προκαλέσουν αυξομειώσεις στο θερμοκρασιακό προφίλ εντός του κτιρίου, δημιουργώντας συνθήκες που απέχουν από τις επιθυμητές. Κάθε ημέρα του έτους μπορεί να χαρακτηριστεί πολύ ζεστή ή πολύ κρύα. Τα παθητικά και ενεργειακά οικονομικά κτίρια μπορούν να διαχειρίζονται τη διαθέσιμη θερμική ενέργεια, με σκοπό τη διατήρηση της θερμικής άνεσης. Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν αναπτυχθεί αρκετές τεχνολογίες με χρήση αποθηκευμένης θερμικής ενέργειας που έχουν αρχίσει να λαμβάνουν μεγάλη έκταση.

Η θερμική αποθήκευση στα κτίρια μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην μείωση των ψυκτικών φορτίων και των μέγιστων εσωτερικών θερμοκρασιών, με άμεση συνέπεια την εξοικονόμηση ενέργειας που είναι και ο στόχος του ενεργειακού σχεδιασμού κτιρίων. Η διακύμανση της θερμοκρασίας των εξωτερικών κελυφών εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τα υλικά που το αποτελούν, και όχι μόνο από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Ακόμη, η μετάδοση της εξωτερικής διακύμανσης της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του χώρου μέσω του κτιριακού κελύφους έχει άμεση σχέση με την ικανότητα των δομικών στοιχείων του κελύφους να αποθηκεύουν θερμότητα. Έτσι, μπορούν να μεταφερθούν τα θερμοκρασιακά μέγιστα αργότερα μέσα στη μέρα όπου η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι χαμηλότερη. Συνέπεια του παραπάνω είναι η επίτευξη θερμικής άνεσης με λιγότερη χρήση κλιματιστικών (ή χρήση σε ώρες που το ρεύμα είναι φθηνότερο), άρα και εξοικονόμηση ενέργειας-χρημάτων.

Άρα, τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του κελύφους, η θερμοχωρητικότητα των δομικών στοιχείων, η θερμοπερατότητα και η θερμική μάζα διαδραματίζουν βασικό ρόλο στην ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των θερμικών φορτίων (cooling-heating) διάφορων κτιρίων συναρτήσει της θερμικής μάζας του κελύφους τους. Επίσης, μελετάται η θερμική συμπεριφορά όμοιων κτιρίων σε διαφορετικό κλίμα. Το ζητούμενο είναι ο προσδιορισμός της βέλτιστης θερμικής μάζας για την επίτευξη θερμικής άνεσης για όλο το έτος.

1.3 Δομή της εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από 6 κεφάλαια. Το 1^ο είναι η εισαγωγή, όπου παρουσιάζονται το ενεργειακό πρόβλημα σήμερα, η ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια και ο στόχος της εργασίας. Το 2^ο κεφάλαιο περιγράφει τις βασικές μεθόδους θέρμανσης και ψύξης σε εσωτερικούς χώρους. Το 3^ο κεφάλαιο περιγράφει τρόπους μείωσης θερμικών και ψυκτικών φορτίων και εισάγει χρήσιμες έννοιες, όπως η θερμομόνωση, η θερμική μάζα, τα υλικά αλλαγής

φάσης κλπ. Στο 4^ο κεφάλαιο περιγράφεται το πρόγραμμα προσομοίωσης TRNSYS που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα εργασία. Πρόκειται για μια σύντομη και περιεκτική ανάλυση του προγράμματος που δίνει στον αναγνώστη να κατανοήσει τον τρόπο με τον οποίο έγιναν οι υπολογισμοί. Το 5^ο και το 6^ο κεφάλαιο αποτελούν το κύριο μέρος της εργασίας. Στο 5^ο παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των κτιρίων που μελετήθηκαν, τα κλιματικά δεδομένα, η μεθοδολογική προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε και τα διαγράμματα των προσομοιώσεων, ενώ στο 6^ο τα συμπεράσματα που προέκυψαν από το 5^ο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΨΥΞΗ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ

Το κεφάλαιο αυτό αναλύει τον όρο “ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων”, αναφέρει περιληπτικά τους βασικούς τρόπους μετάδοσης θερμότητας και παρουσιάζει συμβατικές και παθητικές μεθόδους θέρμανσης και ψύξης.

2.1 Μετάδοση θερμότητας

Οι αρχές μετάδοσης θερμότητας έχουν μεγάλη σημασία για τις οικοδομικές εγκαταστάσεις τόσο για την θέρμανση όσο και την ψύξη. Η μεταφορά θερμότητας δύναται να γίνει με 3 τρόπους: μεταφορά με αγωγή, μεταφορά με συναγωγή και μεταφορά με ακτινοβολία.

Η μεταφορά με αγωγή αφορά την άμεση επαφή των τμημάτων των 2 σωμάτων και γίνεται μέσω διάχυσης των ατόμων ή μορίων και διάχυσης των ελεύθερων ηλεκτρονίων. Η θερμική αγωγή πραγματοποιείται πάντα από το σώμα μεγαλύτερης θερμοκρασίας σε αυτό με την μικρότερη θερμοκρασία.

Η θερμική αγωγή για μόνιμες συνθήκες και μονοδιάστατη ροή περιγράφεται από την εξίσωση Fourier:

$$q = -k \frac{dT}{dx}, \quad (2.1)$$

όπου q η ροή θερμότητας (W/m^2), A επιφάνεια κάθετη προς τη μεταφερόμενη θερμότητα (m^2), K συντελεστής αγωγιμότητας ($W/(mK)$), $\frac{dT}{dx}$ διαφορική μεταβολή θερμοκρασίας-μήκους (K/m) [9].

Ο συντελεστής αγωγιμότητας για τα συνήθη δομικά υλικά όπως τσιμέντο, τούβλο, σοβάς κλπ έχει τιμές της τάξης της μονάδας.

Η μεταφορά θερμότητας με συναγωγή προϋποθέτει διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δύο μαζών και γίνεται μέσω μακροσκοπικής κίνησης των μορίων και του ίδιου του ρευστού. Η μεταφορά θερμότητας με συναγωγή διαχωρίζεται σε δύο τύπους: την ελεύθερη συναγωγή και την εξαναγκασμένη συναγωγή. Στην ελεύθερη συναγωγή η μετάδοση θερμότητας οφείλεται αποκλειστικά στη διαφορά πυκνότητας μεταξύ θερμών και ψυχρών σωματιδίων του ρευστού. Η ένταση της μετάδοσης εξαρτάται πλήρως από τις θερμικές συνθήκες της κάθε περίπτωσης. Το είδος του ρευστού, η θερμοκρασιακή διαφορά και ο όγκος του χώρου όπου συμβαίνει η μεταφορά θερμότητας αρκούν για τον προσδιορισμό της έντασης του φαινομένου. Στην εξαναγκασμένη συναγωγή υπάρχει κάποιο εξωτερικό αίτιο που προκαλεί τη μετάδοση θερμότητας μέσω της κίνησης του ρευστού, όπως αντλίες, ανεμιστήρες κλπ. Η μεταφορά θερμότητας στην εξαναγκασμένη συναγωγή εξαρτάται από τις ιδιότητες του ρευστού, το σχήμα του χώρου όπου λαμβάνει χώρα η διαδικασία και την ταχύτητα της ροής και τη θερμοκρασία του ρευστού.

Η εξίσωση της μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή είναι:

$$q = h(T_s - T_f), \quad (2.2)$$

,όπου q η ροή θερμότητας (W/m^2), h ο συντελεστής συναγωγής ($W/(m^2K)$), T_s η θερμοκρασία επιφάνειας (K) και T_f η θερμοκρασία ρευστού (K) [9] .

Πολύ σημαντικό μέγεθος είναι ο συντελεστής συναγωγής, h , που καθορίζει το μέγεθος της μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή. Οι μονάδες του είναι $W/(m^2K)$.

Οι τιμές του εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες και ενδεικτικά αναφέρονται μερικοί: η ταχύτητα του ρευστού, οι διαστάσεις και το είδος της επαφής, οι ιδιότητες του ρευστού κλπ. Λαμβάνει για εσωτερικούς χώρους τιμές 5 έως 10 και για εξωτερικούς 12-20 για συνήθεις συνθήκες. Αυτό συμβαίνει διότι οι συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος είναι διαφορετικές από αυτές των εσωτερικών χώρων, για παράδειγμα η ταχύτητα του αέρα είναι πολύ μεγαλύτερη εκτός κτιρίων από ότι εντός.

Τέλος, κάθε σώμα με θερμοκρασία άνω των 0 K εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία γίνεται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Η θερμική ακτινοβολία εκπέμπεται σε περιορισμένο πεδίο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, μεταξύ των 0,1 μm και 100 μm .

2.2 Ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων

Με τον όρο ενεργειακό σχεδιασμό κτιρίων, αναφέρονται κτίρια που εκμεταλλεύονται τις κλιματικές αλλαγές-συνθήκες του περιβάλλοντος και αποσκοπούν στην επίτευξη βέλτιστων συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης για τους κατοίκους και ελαχιστοποίηση της απαίτησης για θέρμανση και ψύξη. Πρωταρχικός στόχος του ενεργειακού σχεδιασμού είναι η εξοικονόμηση ενέργειας, δηλαδή μείωση θερμικών και ψυκτικών φορτίων. Όμως κάθε κτίριο που σχεδιάζεται με “ενεργειακό προσανατολισμό” δέχεται και πολλούς περιορισμούς. Αυτοί είναι κυρίως οικοδομικοί και χωροταξικοί και προκαλούν ζητήματα προς επίλυση στους μελετητές του ενεργειακού σχεδιασμού και γενικότερα στη θερμική συμπεριφορά των κτιρίων. Έτσι, το ενδιαφέρον στρέφεται ως επί το πλείστον στα ηλεκτρολογικά και μηχανολογικά χαρακτηριστικά του κτιρίου [5,7] .

Ο ενεργειακός σχεδιασμός κτιρίων, την περίοδο του χειμώνα, θέτει ως βασικό του στόχο την ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών πάσης φύσεως. Δηλαδή αποσκοπεί στην μείωση των απωλειών αγωγιμότητας, εξάτμισης και αερισμού, ενώ επιτρέπει τον αερισμό για λόγους υγιεινής. Παράλληλα, το κτίριο που σχεδιάζεται με ενεργειακό προσανατολισμό εκμεταλλεύεται την ηλιακή ακτινοβολία αυξάνοντας τα θερμικά κέρδη έτσι ώστε να μειωθούν οι δαπάνες για θέρμανση του χώρου. Τους θερινούς μήνες, το “ενεργειακό κτίριο” αποτρέπει την είσοδο των θερμικών φορτίων από την ηλιακή ακτινοβολία και ταυτόχρονα στοχεύει στη

βελτιστοποίηση των φυσικών μεθόδων δροσισμού του χώρου. Ελαχιστοποιεί δηλαδή τη χρήση κλιματιστικών για ψύξη του χώρου. Σύμφωνα με όσα ειπώθηκαν ο ρόλος του κτιριακού κελύφους που καλύπτει τις σύγχρονες απαιτήσεις για εξοικονόμηση ενέργειας είναι πολλαπλός. Αφενός μεν να δεσμεύει την ηλιακή ακτινοβολία τους χειμερινούς μήνες, αφετέρου να αποτρέπει την εισαγωγή της στο κτίριο τους καλοκαιρινούς μήνες. Καλείται δηλαδή να λειτουργήσει σαν “επιλεκτικός ηλιακός συλλέκτης”. Η θερμότητα που μπορούν να αποθηκεύσουν τα δομικά υλικά είναι ανάλογη με την τιμή της **θερμοχωρητικότητας** τους.

2.2.1 Ηλιακή Ακτινοβολία

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μείζονος σημασίας στο σχεδιασμό ενεργειακών και παθητικών κτιρίων. Η συνολική ηλιακή ακτινοβολία εμφανίζεται και με τις τρεις συνιστώσες της που αξίζει να αναφερθούν περιληπτικά:

Άμεση ηλιακή ακτινοβολία

Αφορά την άμεση έκθεση των δομικών υλικών στην ακτινοβολία του ηλίου. Από αυτήν προέρχεται το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας και συνεπώς παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τον ενεργειακό σχεδιασμό κτιρίων. Η προσπάθεια αύξησης θερμικών κερδών το χειμώνα και προστασίας από τον ήλιο το καλοκαίρι αφορούν συνήθως την προσπίπτουσα άμεση ηλιακή ακτινοβολία.

Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία

Προέρχεται από το σύνολο του ουράνιου θόλου, έχει μικρότερο ενεργειακό περιεχόμενο από την άμεση ακτινοβολία, αλλά είναι ορατή από τα δομικά υλικά των κτιρίων. Αποτελεί αξιόλογο ποσοστό του ηλιακού κέρδους στα κτίρια.

Ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία

Η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από την γεωμετρία της περιοχής και τις κατακόρυφες επιφάνειες που έχουν οπτική επαφή με το κτίριο.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου είναι το κλίμα. Βέβαια οι κλιματικές συνθήκες χαρακτηρίζουν περιοχές μεγάλης έκτασης και διαφοροποιούνται από αυτές που αντιμετωπίζει ένα συγκεκριμένο κτίριο. Κάθε κτίριο αντιμετωπίζει διαφορετικές κλιματικές συνθήκες ανάλογα με τις συνθήκες δόμησης, τα πλάτη των οδών και τα ύψη των κτιρίων περιμετρικά του κτιρίου που μελετάται. Έτσι, το **μικρόκλιμα** χαρακτηρίζει τις

ιδιαίτερες κλιματικές συμπεριφορές του εκάστοτε κτιρίου προς μελέτη. Μικρόκλιμα και κτίριο αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και βασική επιδίωξη κάθε ενεργειακού σχεδιασμού είναι η ελαχιστοποίηση της επιβάρυνσης των μικροκλιματικών συνθηκών.

Κατά την νυχτερινή περίοδο ο ρόλος που διαδραματίζει το κτιριακό κέλυφος διαφοροποιείται αλλά παραμένει εξίσου σημαντικός. Το καλοκαίρι, και με δεδομένο ότι η εξωτερική θερμοκρασία είναι συνήθως χαμηλότερη από την εσωτερική επιτυγχάνεται ψύξη του χώρου με φυσικό αερισμό. Μέσω του αερισμού ενισχύονται οι θερμικές απώλειες μέσω συναγωγής και διαχέεται η θερμότητα του εσωτερικού χώρου στο εξωτερικό περιβάλλον όπου επικρατεί χαμηλότερη θερμοκρασία. Επίσης χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες οροφής που ενισχύουν την κίνηση του αέρα και συντελούν στην αποβολή θερμότητας από τα δομικά στοιχεία τη νύχτα. Έτσι επιτυγχάνεται φυσικός δροσισμός με ελάχιστη ή καθόλου χρήση κλιματιστικών.

Το χειμώνα συμβαίνει το αντίθετο, διότι η εξωτερική θερμοκρασία είναι συνήθως χαμηλότερη της εσωτερικής. Για να καλυφθούν οι ανάγκες των χρηστών του κτιρίου το χειμώνα, χρησιμοποιούνται καύσιμα για τη θέρμανση του χώρου. Η θέρμανση του χώρου, όπως αναφέρθηκε στο 1^ο κεφάλαιο, καλύπτει το μεγαλύτερο ποσοστό από τις επιμέρους ενεργειακές καταναλώσεις του κτιριακού χώρου. Το μεγαλύτερο μέρος αυτού του ποσοστού χρησιμοποιείται για την κάλυψη των απωλειών αερισμού, όποτε γίνεται αντιληπτή η ανάγκη περιορισμού του αερισμού την χειμερινή περίοδο. Αυτό πρέπει να γίνεται με ορθολογικό τρόπο για να διατηρηθεί σε κανονικά επίπεδα και η υγιεινή του χώρου.

2.2.2 Υαλοπίνακες

Μέρος του κελύφους που διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο στην ενεργειακή συμπεριφορά του εκάστοτε κτιρίου είναι οι **υαλοπίνακες**. Οι υαλοπίνακες είναι αυτοί οι οποίοι επιτρέπουν στην ηλιακή ακτινοβολία να εισέρχεται απευθείας εντός του κτιρίου έτσι ώστε αυτή να θερμαίνει το κτίριο. Αυτό τους καθιστά υψηλής σημασίας, ειδικά για τους χειμερινούς μήνες, όπου μέρος της θέρμανσης του χώρου εξασφαλίζεται από την ηλιακή ακτινοβολία. Παράλληλα, η ύπαρξη υαλοπινάκων στο κτιριακό κέλυφος προκαλεί μεγάλες θερμικές απώλειες, λόγω της υψηλής θερμικής διαπερατότητας τους. Υπάρχουν 3 βασικά είδη υαλοπινάκων, τα οποία αναλύονται παρακάτω:

1) Απλοί υαλοπίνακες

Οι συγκεκριμένοι υαλοπίνακες αποτελούν την παλαιότερη και απλούστερη μορφή υαλοπινάκων . Αποτελούνται από ένα και μόνο κρύσταλλο σε διάφορα πάχη (συνήθως από 3 mm έως 6 mm) το οποίο έχει περιορισμένες δυνατότητες θερμομόνωσης , ηχομόνωσης και ασφάλειας. Οι συγκεκριμένοι υαλοπίνακες τοποθετούνταν επί πολλά έτη σε όλα τα παραδοσιακού τύπου κουφώματα στενής διατομής και πολύ απλού προφίλ. Στην Ελλάδα η χρήση τους ήταν πολύ συχνή μέχρι προσφάτως. Η θερμική τους συμπεριφορά δεν συμφωνεί πλέον με το σύγχρονο κανονισμό θερμομόνωσης κτιρίων και πέραν αυτού οι υαλοπίνακες αυτοί παρουσιάζουν την υψηλότερη ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, επιτρέπουν την μέγιστη εισχώρηση στην ηλιακή ακτινοβολία, παρέχουν μηδενική σχεδόν ηχομόνωση, μικρή ασφάλεια και αυξημένους κινδύνους τραυματισμού σε περίπτωση θραύσης. Πιο συγκεκριμένα, έχουν θερμοπερατότητα της τάξης των $5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ η οποία είναι μια πολύ υψηλή τιμή για τα σύγχρονα κτίρια.

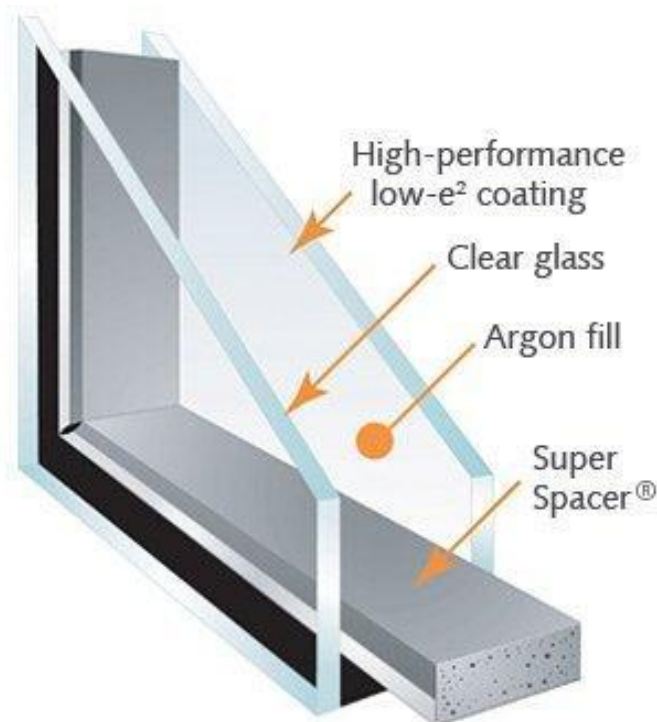
2) Διπλοί Υαλοπίνακες

Οι διπλοί υαλοπίνακες αποτελούνται από δυο κρύσταλλα τα οποία ενώνονται περιμετρικά με ένα προφίλ αλουμινίου και το όλο σύστημα σφραγίζεται με ειδική κόλλα. Στο διάκενο συναντάμε εγκλωβισμένο στρώμα ξηρού αέρα. Τα συνηθέστερα πάχη χρησιμοποιούμενων κρυστάλλων είναι 3 mm έως 6 mm και συνδυάζονται με διάκενα από 8 mm έως 16 mm. Σε σύγκριση με το σύστημα μονής υάλωσης οι διπλοί υαλοπίνακες περιορίζουν τις θερμικές απώλειες λόγω της θερμομονωτικής ιδιότητας του αέρα στο διάκενο , παρουσιάζουν επίσης μεγαλύτερες ιδιότητες ηχομόνωσης και ασφάλειας και είναι διαυγείς. Η θερμοπερατότητα τους είναι της τάξης των $2.5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, μια τιμή ικανοποιητική.

3) Ενεργειακοί διπλοί θερμομονωτικοί υαλοπίνακες

Τα τελευταία έτη υπάρχουν στην αγορά διπλοί υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής (low-e) με μικρό συντελεστή θερμοδιαπερατότητας με τιμές κοντά στην μονάδα. Αυτοί οι υαλοπίνακες έχουν συντελεστή εκπομπής 0.1 ενώ το κοινό γυαλί έχει 0,88. Αυτοί οι υαλοπίνακες χαμηλής εκπομπής είναι συνθέσεις κρυστάλλων ίδιας δομής με τους συμβατικούς διπλούς αλλά με χρήση διαφορετικών τύπων κρυστάλλων και αερίου στο διάκενό τους . Αποτελούνται και αυτοί από δύο κρύσταλλα ενωμένα μεταξύ τους με ένα αλουμινένιο προφίλ και σφραγίζονται περιμετρικά με ειδική κόλλα. Το ένα κρύσταλλο είναι ένας συμβατικός απλός υαλοπίνακας (clear float glass) ενώ το δεύτερο κρύσταλλο έχει υποστεί ειδική επεξεργασία κατά την

παραγωγή του κατά την οποία έχει εφαρμοσθεί μια επίστρωση χαμηλής εκπομπής η οποία εμφανίζει υψηλή ανακλαστικότητα στο υπέρυθρο τμήμα της ακτινοβολίας. Παράλληλα το διάκενο μεταξύ των δύο κρυστάλλων πληρώνεται αντί ξηρού αέρα με ένα ευγενές αέριο το οποίο διαθέτει αυξημένες θερμομονωτικές ιδιότητες. Ο συντελεστής θερμοπερατότητας τους αγγίζει τη μονάδα όταν χρησιμοποιείται αργό, ενώ γίνεται $0.8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ όταν χρησιμοποιείται κρυπτόν. Αυτές οι τιμές είναι πάρα πολύ χαμηλές και ελαχιστοποιούν τις απώλειες θερμότητας του κτιρίου από τους υαλοπίνακες, γεγονός που οδηγεί σε μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας. Όμως, το κόστος αυτών των υαλοπινάκων είναι αυξημένο, λόγω της ιδιαίτερης κατασκευής τους.



Εικόνα 2.1: Ενεργειακός υαλοπίνακας

Εν τέλει, ο ενεργειακός σχεδιασμός χρησιμοποιεί τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κελύφους του κτιρίου, το μικρόκλιμα και τους υαλοπίνακες για την επίτευξη του βασικού του σκοπού, την μείωση δηλαδή των θερμικών και ψυκτικών φορτίων. Οι κύριοι τρόποι θέρμανσης και ψύξης κτιρίων, συμβατικοί και μη, αναλύονται παρακάτω στο παρόν κεφάλαιο.

2.3 Τρόποι θέρμανσης και ψύξης

2.3.1 Θέρμανση

Οι κύριοι τρόποι θέρμανσης εσωτερικών χώρων είναι τρεις: με ηλεκτρικό ρεύμα, με καύση και με αντλίες θερμότητας.

Θέρμανση με ηλεκτρικό ρεύμα

Κυριότεροι τύποι ηλεκτρικής θέρμανσης είναι τα ηλεκτρικά καλοριφέρ, οι θερμάστρες, οι θερμοπομποί, τα θερμαντικά πάνελ, οι θερμοσυσσωρευτές, οι ηλεκτρικοί λέβητες, τα αερόθερμα και κλιματιστικά. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της θέρμανσης με ρεύμα είναι:

- Δεν υπάρχει ανάγκη αποθήκευσης καυσίμου
- Ο εξοπλισμός συνήθως καταλαμβάνει μικρό ωφέλιμο χώρο
- Μικρές ανάγκες συντήρησης εξοπλισμού
- Ο ηλεκτρισμός είναι άμεσα διαθέσιμος

Ηλεκτρικά καλοριφέρ, θερμοπομποί, θερμαντικά πάνελ

Αυτά περιέχουν αντιστάσεις που θερμαίνονται, είναι φτηνά, αλλά το κόστος λειτουργίας τους είναι αρκετά υψηλό, ενώ είναι αθόρυβα με άμεση απόδοση. Προτείνονται για τοπική θέρμανση (πχ ενός δωματίου) και όχι όλου του χώρου.

Θερμάστρες-κάτοπτρα με λυχνίες αλογόνου, χαλαζία υπέρυθρης κλπ

Παράγουν ενοχλητικό φως για τον άνθρωπο, έχουν υψηλό κόστος, ενώ χρειάζονται προσοχή στη χρήση τους διότι αποτελούν κίνδυνο για εγκαύματα ή πυρκαγιά.

Αερόθερμα, κλιματιστικά, Fancoil

Βασικό μειονέκτημα τους είναι πως ανασηκώνουν τη σκόνη που βρίσκεται στο χώρο, επειδή παράγουν θερμό και ξηρό αέρα. Έτσι δημιουργούνται προβληματικές συνθήκες άνεσης, ειδικά για άτομα που αντιμετωπίζουν προβλήματα υγείας, όπως αναπνευστικά, αλλεργίες κλπ. Ακόμη, είναι θορυβώδη και θερμαίνουν ανομοιόμορφα το χώρο (ζεστή οροφή-κρύο πάτωμα), ενώ ο χώρος κρυνώνει σχετικά γρήγορα όταν απενεργοποιηθούν, συγκριτικά με τη χρήση καλοριφέρ.

Τα κλιματιστικά inverter έχουν μειωμένη κατανάλωση ρεύματος και μειωμένο θόρυβο σε σχέση με τα συμβατικά, ενώ τα fancoil έχουν μειωμένη κατανάλωση ενέργειας όταν συνδυάζονται με κάποια αντλία θερμότητας. Τα κλιματιστικά χρειάζονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα συντήρηση των φίλτρων που διαθέτουν.

Ηλεκτρικοί λέβητες

Περιέχουν ηλεκτρικές αντιστάσεις που θερμαίνουν το νερό που περιέχουν και από εκεί θερμαίνουν τα καλοριφέρ. Είναι αθόρυβοι, έχουν χαμηλό κόστος συντήρησης και δεν καταλαμβάνουν μεγάλο χώρο. Μειονέκτημα τους το υψηλό κόστος λειτουργίας.

Ενδοδαπέδια θέρμανση με ηλεκτρικές αντιστάσεις

Η ενδοδαπέδια θέρμανση που χρησιμοποιεί ηλεκτρικές αντιστάσεις αντί για σωληνώσεις νερού, είναι πιθανό να δημιουργεί υψηλά ηλεκτρομαγνητικά πεδία με τα οποία ερχόμαστε σε άμεση επαφή. Εξαιρεση αποτελεί η ενδοδαπέδια θέρμανση με θωρακισμένους ηλεκτροφόρους αγωγούς (μηδενίζουν τα ηλεκτρικά πεδία εναλλασσόμενου ρεύματος) και διπλού πυρήνα (twiπ-core - μειώνουν τα μαγνητικά πεδία εναλλασσόμενου ρεύματος).

Θερμοσυσσωρευτές

Διαθέτουν αντιστάσεις που φορτίζονται τη διάρκεια της νύχτας (με μειωμένο τιμολόγιο της ΔΕΗ) και θερμαίνουν τα υλικά μεγάλης θερμικής μάζας που περιέχουν (πυρότουβλα). Τα πυρότουβλα αποδίδουν την θερμότητα στο χώρο με την μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας που θεωρείται η πιο υγιεινή μορφή θερμότητας (όπως αυτή που παράγει ο ήλιος). Κύριο μειονέκτημα τους ότι καταναλώνουν αρκετό ρεύμα και παράλληλα αποδίδουν τη θερμότητα μετά από κάποιες ώρες. Λειτουργούν με εκπομπή τεχνητών ηλεκτρομαγνητικών πεδίων τις νυχτερινές ώρες όταν και φορτίζουν για αυτό και πρέπει να αποφεύγεται η τοποθέτηση τους σε απόσταση μικρότερης του ενός μέτρου από κρεβάτια.



Εικόνα 2.2: Θερμοσυσσωρευτής

Θέρμανση με καύση

Η καύση πετρελαίου, φυσικού αερίου, ξύλου, pellets κλπ για την παραγωγή θερμικής ενέργειας γίνεται με τη δέσμευση οξυγόνου και την **παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα**, μικροσωματιδίων και άλλων ρύπων που συμβάλλουν σημαντικά στην ατμοσφαιρική ρύπανση και το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Οι επιπτώσεις της προκαλούμενης ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι σε ατομικό επίπεδο μεγαλύτερες όταν η καύση γίνεται σε εσωτερικούς χώρους με ελλιπή εξαερισμό. Αν και η αγορά ατομικού καυστήρα έχει τα θετικά της, η ύπαρξη περισσότερων καυστήρων σημαίνει την παραγωγή περισσότερων ατμοσφαιρικών ρύπων.

Καυστήρες – Λέβητες Πετρελαίου

Πετρέλαιο καίγεται στον καυστήρα και θερμαίνει νερό στον λέβητα το οποίο μέσω σωληνώσεων φτάνει στα σώματα καλοριφέρ. Πλεονέκτημα αυτού του τρόπου θέρμανσης είναι η ύπαρξη δικτύου διανομής. Τα μειονεκτήματά του είναι αρκετά και ενδεικτικά αναφέρονται το υψηλό κόστος αγοράς και λειτουργίας, η κατάληψη μεγάλου ωφέλιμου χώρου, η ανάγκη συντήρησης κ.α.

Ορισμένοι τρόποι για να μειωθεί το κόστος λειτουργίας είναι η τακτική συντήρηση των καυσίμων, η αντικατάσταση των καυστήρων λεβήτων παλαιάς τεχνολογίας με νέα πιο ενεργειακά αποδοτικά συστήματα που προσεγγίζουν βαθμό απόδοσης 80% και η έγκαιρη διόρθωση της θερμομόνωσης των σωληνώσεων.

Καυστήρες – Λέβητες Φυσικού Αερίου

Συγκριτικά με το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο είναι αρκετά φθηνότερο, χρησιμοποιεί καυστήρες και λέβητες νεότερης γενιάς, δεν χρειάζεται αποθήκευση και είναι συνεχώς διαθέσιμο. Έχει όμως και μειονεκτήματα, όπως περιορισμένο δίκτυο διανομής, μηνιαίο πάγιο για την παροχή αερίου, συνεχή μεταβολή του κόστους καυσίμου και υψηλό κόστος αγοράς και λειτουργίας. Πετρέλαιο και φυσικό αέριο δεν θεωρούνται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συγκαταλέγεται και αυτό στα μειονεκτήματα τους.

Καυστήρες-Λέβητες Βιομάζας

Βιομάζα αποκαλείται οποιοδήποτε υλικό οργανικής προέλευσης αλλά αυτά που χρησιμοποιούνται κυρίως ως καύσιμη ύλη είναι τα ξύλα, τα pellets (πεπιεσμένα κομμάτια από διάφορα φυτικά προϊόντα, πριονίδι κλπ), η βιοαιθανόλη (αλκοόλη που παράγεται από φυτά όπως το ζαχαρότευτλο και το καλαμπόκι) κλπ.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της βιομάζας είναι: θεωρείται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, μπορεί να παραχθεί στην χώρα μας, έχει χαμηλότερο κόστος λειτουργίας από φυσικό αέριο και πετρέλαιο και δεν έχει υψηλό κόστος λειτουργίας.

Μειονεκτήματα της χρήσης βιομάζας για τη θέρμανση είναι: η κάλυψη μεγάλου ωφέλιμου χώρου, το υψηλό κόστος συντήρησης κυρίως όταν χρησιμοποιούνται pellet ή ξύλα χαμηλής ποιότητας και η ανάγκη συνεχούς ανατροφοδότησης.

Υπάρχουν όμως αρκετές αμφιβολίες στο κατά πόσο είναι οικολογική πηγή ενέργειας η βιομάζα. Θεωρείται ότι δεν συμβάλει στην αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (CO₂ neutral) επειδή το διοξείδιο του άνθρακα που παράγει το είχε ήδη αφαιρέσει από την ατμόσφαιρα κατά την ανάπτυξη του δέντρου ή του φυτού από το οποίο προήλθε ή θα δεσμευθεί από το νέο δέντρο ή φυτό που θα φυτευτεί στη θέση του κομμένου. Στην πράξη η βιομάζα εισάγεται κυρίως από τρίτες χώρες (εισαγωγή CO₂ χωρίς την τοπική αναπλήρωση του), αποψιλώνοντας μεγάλες εκτάσεις που συχνά δεν καλλιεργούνται ξανά.

Ακόμη και αν ξαναφυτευτούν, τα νέα δέντρα κάνουν χρόνια για να αναπληρώσουν το χαμένο οξυγόνο.

Επίσης η χρήση της βιομάζας ως καύσιμο οδηγεί και στην έξαρση της λαθραίας υλοτόμησης, ενώ οι μονοκαλλιέργειες για την παραγωγή βιοκαυσίμων ενδεχομένως να έχουν επιπτώσεις στη τοπική βιοποικιλότητα και το έδαφος. Πάντως η βιομάζα μπορεί να αποτελέσει καλή εναλλακτική στα ορυκτά καύσιμα, αρκεί η παραγωγή της να είναι ελεγχόμενη και να επιτρέπεται μόνο όταν πληρούνται οι απαραίτητες συνθήκες.

Τζάκια και σόμπες βιομάζας (ξύλου, pellets, βιοαιαθανόλης)



Εικόνα 2.3: Τζάκι με pellets

Τα πλεονεκτήματα αυτού του τρόπου θέρμανσης ομοιάζουν με τα παραπάνω που αφορούν τη χρήση βιομάζας. Δηλαδή το χαμηλότερο κόστος από φυσικό αέριο και πετρέλαιο, την δυνατότητα εγχώριας παραγωγής κλπ. Στην προκειμένη περίπτωση μπορεί να προστεθεί και η όμορφη αισθητική των τζακιών αυτών.

Ως μειονεκτήματα μπορούν να αναφερθούν η συνεχής ανάγκη για εξαερισμό του σπιτιού, η αδυναμία ελέγχου της θερμοκρασίας, η ανάγκη τακτικής και δύσκολης συντήρησης καπναγωγού, καπνοδόχου, εστίας, τζαμιού κλπ, το υψηλό κόστος συντήρησης όταν χρησιμοποιούνται pellet ή ξύλα χαμηλής ποιότητας, το πιθανό “κάπνισμα” του τζακιού και η ανάγκη χώρου αποθήκευσης.

Σόμπες πετρελαίου, κηροζίνης, φυσικού αερίου, ξύλο, pellets κλπ

Χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση συγκεκριμένων χώρων και αποτελούν μία οικονομική λύση. Όμως, η ποιότητα διαφέρει σημαντικά από μοντέλο σε μοντέλο, ενώ πρέπει να διαθέτουν και ευρωπαϊκή πιστοποίηση CE. Είναι αναγκαίος ο εξαερισμός του χώρου και απαιτείται προσοχή στις σόμπες υγραερίου για τυχόν διαρροές.

Απλά τζάκια (ανοιχτή εστία)

Τα ανοιχτού τύπου τζάκια δεν συνιστώνται σε καμία περίπτωση, διότι ρυπαίνουν το περιβάλλον, έχουν χαμηλή απόδοση γύρω στο 15-30%, καταναλώνουν πολύ καύσιμο και χρειάζονται συνεχή επίβλεψη.

Ενεργειακά τζάκια

Αυτός ο τύπος τζακιών έχει ανεβασμένη απόδοση γύρω στο 70-75%, επειδή η εστία κλείνει με κάποιο πυρίμαχο τζάμι και το ξύλο καίγεται με λιγότερο αέρα. Γίνεται οικονομία στο καύσιμο και περιορίζονται οι απώλειες αέρα από το χώρο. Παράλληλα, τα ενεργειακά τζάκια δεν χρειάζονται συνεχή επίβλεψη όπως τα απλά. Τα θερμοδυναμικά-ενεργειακά τζάκια περιέχουν επιπλέον και μηχανισμό επανάκαυσης των καυσαερίων αυξάνοντας ακόμη περισσότερο το βαθμό απόδοσης του τζακιού ελαχιστοποιώντας και τους ρύπους. Με τη χρήση βεντιλατέρ και αεραγωγών μπορούν να θερμανθούν και γειτονικοί χώροι. Το σύστημα αεραγωγών γενικά δεν προτείνεται διότι παράγει θερμό και ξηρό αέρα που ανασκόνει τη σκόνη στο χώρο, δημιουργώντας προβληματικές συνθήκες άνεσης.

Τζάκια βιοαιθανόλης

Αυτού του τύπου τζάκια είναι αισθητικά όμορφα και έχουν αρκετά χαμηλή τιμή πώλησης. Καίει βιοαιθανόλη (υγρό) και δεν βγάζουν καπνό, παρά μόνο μικρές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα. Έτσι λειτουργούν χωρίς καμινάδα.

Τζάκια καλοριφέρ

Τα τζάκια καλοριφέρ θερμαίνουν νερό που διοχετεύεται στα σώματα των καλοριφέρ του σπιτιού μέσω κυκλοφορητών. Τα τζάκια αυτά έχουν την δυνατότητα να θερμάνουν ολόκληρο το σπίτι και είναι περισσότερο υγιεινή επιλογή σε σχέση με τα τζάκια που θερμαίνουν αέρα.

Τζάκια μεγάλης θερμικής μάζας

Χτίζονται με κεραμικά υλικά, πυρότουβλα, μάρμαρα και άλλα υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας. Η καύση πραγματοποιείται σε κλειστή εστία με μικρή ποσότητα καυσίμου και τα καυσαέρια που παράγονται από την καμινάδα είναι ελάχιστα. Ο θερμός αέρας που παράγεται ζεσταίνει τα πυρότουβλα τα οποία αποθηκεύουν την θερμότητα και την εκπέμπουν με τη μορφή υγιεινής υπέρυθρης ακτινοβολίας για πολλές ώρες αφού σβήσει η φωτιά. Καταλαμβάνουν μεγάλο όγκο και συνήθως τοποθετούνται στο κέντρο του κτιρίου. Είναι δημοφιλής τρόπος θέρμανσης στις βόρειες χώρες, αλλά στην Ελλάδα δεν έχει αναπτυχθεί έως τώρα.

Θέρμανση με αντλίες θερμότητας

Η θέρμανση με αντλίες θερμότητας θεωρείται από πολλούς ο τρόπος θέρμανσης με το χαμηλότερο λειτουργικό κόστος αφού δεν παράγει θερμότητα αλλά την αντλεί από το περιβάλλον με μικρή χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Εξοικονομούν χώρο, δεν δημιουργούν ρύπους καύσης στο κτίριο και έχουν δυνατότητα χρήσης και για ψύξη.

Ένα πολύ σημαντικό μέγεθος, που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την λειτουργία των αντλιών θερμότητας, είναι ο συντελεστής C.O.P. (coefficient of performance). Παίρνει τιμές από 3 έως 6. Για C.O.P.=5 για παράδειγμα σημαίνει πως για κάθε κιλοβατώρα (kWh) ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται, παράγεται πενταπλάσια θερμική ενέργεια. Όσο λιγότερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην πηγή άντλησης θερμότητας (αέρας, νερό, γη) και το θερμικό μέσο των τερματικών μονάδων (π.χ. νερό στα καλοριφέρ) τόσο μικρότερη είναι η ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζεται να δαπανηθεί.

Για αυτό και οι αντλίες θερμότητας είναι ιδανικές όταν υπάρχουν συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας (π.χ. καλοριφέρ μεγάλης επιφάνειας τύπου πάνελ ή ενδοδαπέδια θέρμανση ή fan coils). Τα συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας (30-40 βαθμών) απαιτούν λιγότερη ενέργεια για να θερμάνουν το χώρο σε σχέση με τα παραδοσιακά καλοριφέρ (70-80 βαθμών).

Αντλίες αέρα

Οι συνηθέστερες αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούν τον εξωτερικό αέρα. Πρόκειται για τον πλέον οικονομικό τύπο αντλίας, αλλά ο βαθμός απόδοσης τους πέφτει σημαντικά αυξάνοντας την ηλεκτρική κατανάλωση όταν υπάρχει σημαντική θερμοκρασιακή διαφορά με τον εξωτερικό αέρα. Δηλαδή οι αντλίες θερμότητας καταναλώνουν πολύ ρεύμα όταν επικρατούν πολύ χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες ή ο θερμοστάτης ρυθμίζεται σε πολύ μεγάλες θερμοκρασίες εσωτερικά. Ακόμη οι εξωτερικές μονάδες των αντλιών καταλαμβάνουν σημαντικό ωφέλιμο χώρο, επιβαρύνουν την αισθητική και είναι εύκολο να κλαπούν.



Εικόνα 2.4 : Αντλία Θερμότητας

Οι αντλίες αέρα-αέρα παράγουν θερμό αέρα μέσω fancoils ή αεραγωγών. Έχουν θορυβώδη λειτουργία, ανασηκώνουν τη σκόνη των χώρων αφού παράγουν θερμό και ξηρό αέρα, και χρειάζονται τακτική συντήρηση στα φίλτρα τους. Σε τέτοιου είδους συστήματα πρέπει να γίνεται και ρύθμιση της υγρασίας.

Οι αντλίες αέρα-νερού θερμαίνουν νερό. Όσα σπίτια διαθέτουν τα παραδοσιακά καλοριφέρ χρειάζονται αντλία θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας, ενώ τα σπίτια που διαθέτουν καλοριφέρ τύπου πάνελ ή ενδοδαπέδια θέρμανση αντλία χαμηλής θερμοκρασίας (οικονομική λειτουργία).

2.3.2 Ψύξη

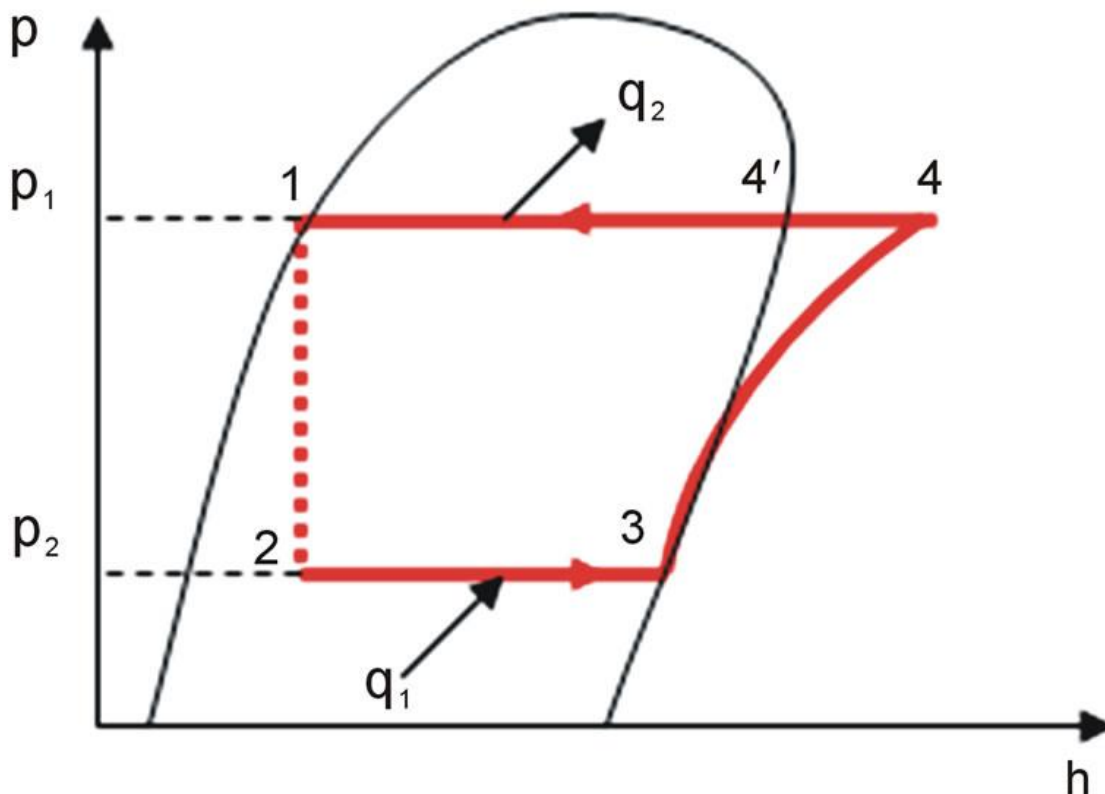
Ψύξη είναι η διαδικασία αποβολής θερμότητας από μία ουσία η οποία μπορεί να είναι στερεό, υγρό ή αέριο. Η αφαίρεση θερμότητας από την ουσία δροσίζει ή μειώνει την θερμοκρασία της. Σε κάποιες μεθόδους ψύξης η μείωση της θερμοκρασίας επιτυγχάνεται με την ταχεία εκτόνωση αερίων κάτω από χαμηλές πιέσεις [10].

Ως ψυκτικό φορτίο, ορίζεται το ποσό θερμότητας που πρέπει να αφαιρεθεί από το χώρο στη μονάδα του χρόνου. Εξαρτάται από εξωτερικές και εσωτερικές πηγές, όπως ηλιακή ακτινοβολία, απώλειες κελύφους και χρήστες, φωτισμό, ηλεκτρικές συσκευές αντίστοιχα.

Για την επίτευξη της ψύξης, χρησιμοποιούνται διάφοροι ψυκτικοί κύκλοι οι οποίοι βοηθούν το ψυκτικό μέσο να απορροφήσει θερμότητα και στη συνέχεια να την απορρίψει στο περιβάλλον.

Κύκλος συμπίεσης ατμού

Είναι ο συνηθέστερος ψυκτικός κύκλος στον οποίο βασίζεται η λειτουργία των κλιματιστικών συστημάτων. Το εργαζόμενο μέσο στον απλό κύκλο υφίσταται 4 διαδοχικές μεταβολές. Το παρακάτω σχήμα δείχνει αυτές τις μεταβολές στο διάγραμμα p-h :



Εικόνα 2.5: Διάγραμμα ψυκτικού κύκλου

Η μεταβολή 2-3 πραγματοποιείται στον ατμοποιητή όπου το ψυκτικό φορτίο παραλαμβάνεται από το εργαζόμενο μέσο ισόθλιπτα. Το σημείο 3 σε ιδανικές συνθήκες είναι κορεσμένος ατμός.

Η μεταβολή 3-4 είναι η συμπίεση του παραγομένου ατμού η οποία στον ιδανικό κύκλο θεωρείται ισεντροπική.

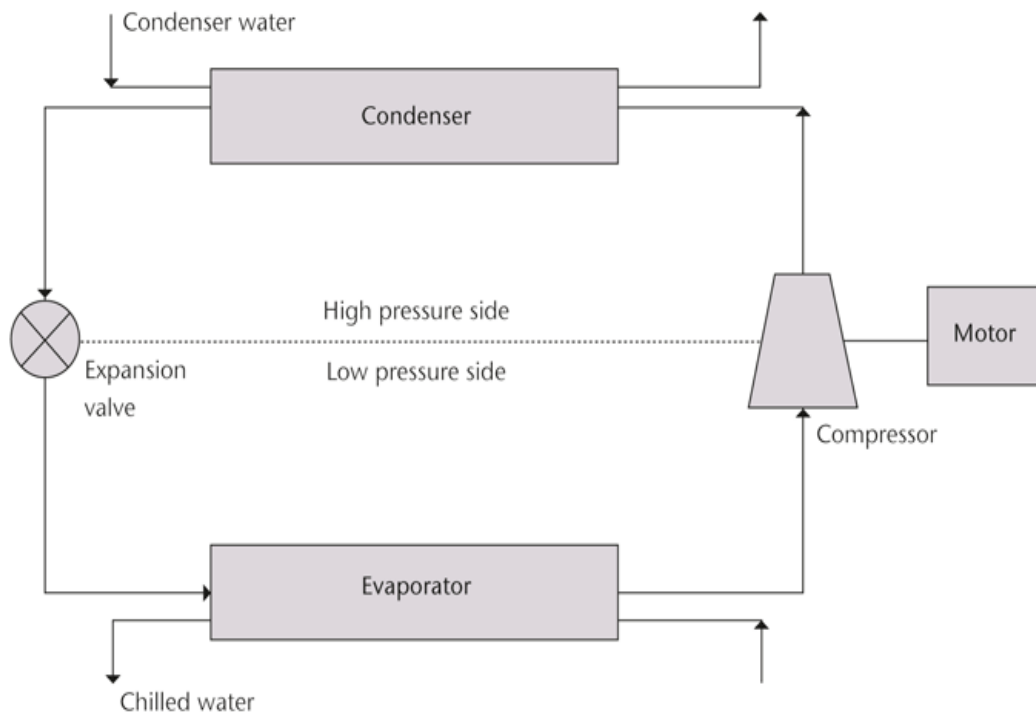
Η μεταβολή 4-1 πραγματοποιείται στον συμπυκνωτή της εγκατάστασης και σε αυτήν την μεταβολή θερμότητα αποβάλλεται στο περιβάλλον ισόθλιπτα. Το σημείο 4 βρίσκεται πάνω στην καμπάνα στον ιδανικό κύκλο. Η υπόψυξη του εργαζόμενου μέσου θα οδηγήσει σε βελτίωση της συμπεριφοράς του κύκλου.

Η μεταβολή 4-1 είναι ισενθαλπικός στραγγαλισμός (άεργος και αδιαβατικός) και πραγματοποιείται ώστε να κλείσει ο θερμοδυναμικός κύκλος.

Για να αξιολογηθεί μία ψυκτική εγκατάσταση, ορίζεται ένα μέγεθος το οποίο ονομάζεται Συντελεστής Συμπεριφοράς (COP) και μπορεί να λαμβάνει τιμές μικρότερες ή και μεγαλύτερες από τη μονάδα. Ο συντελεστής συμπεριφοράς της εγκατάστασης είναι ο λόγος της παραγόμενης ψυκτικής ισχύος προς την ισχύ του συμπιεστή που απαιτείται και δίνεται από το παρακάτω τύπο **[10]** :

$$COP = \frac{h_3 - h_2}{h_4 - h_3}, \quad (2.3)$$

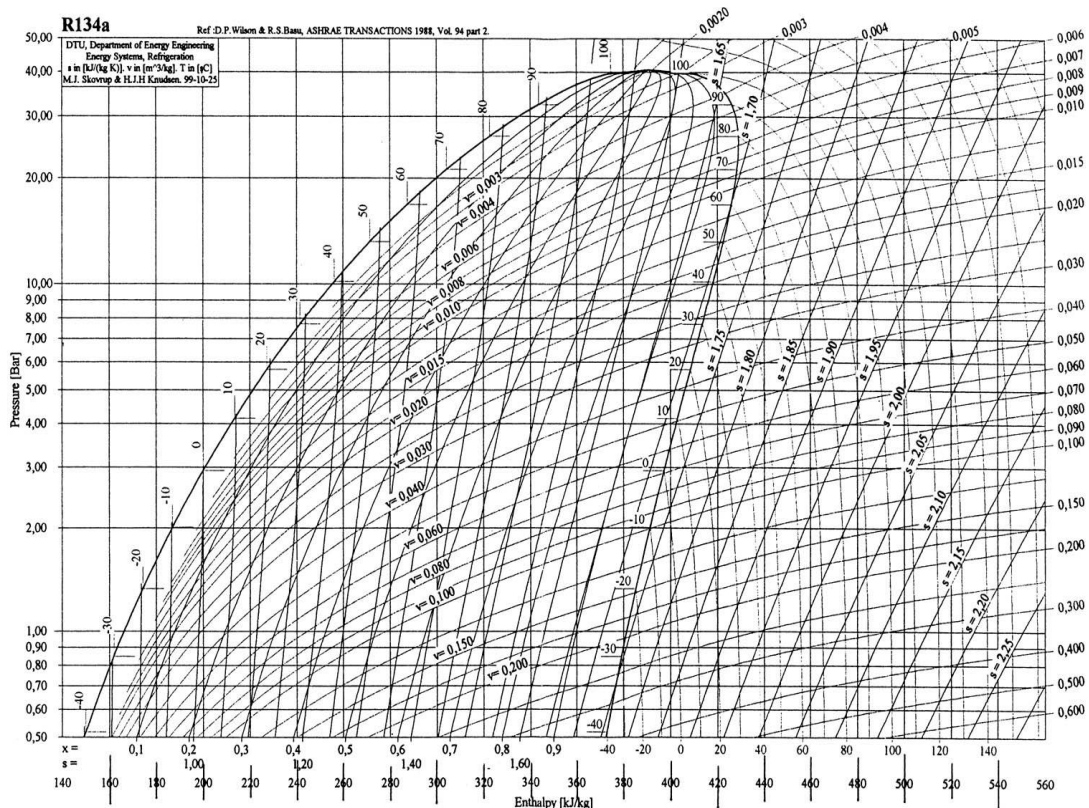
Το παρακάτω σχήμα δείχνει το μονογραμμικό σχήμα μιας ψυκτικής μηχανής στην οποία υλοποιείται ο απλός ψυκτικός κύκλος.



Εικόνα 2.6 : Μονογραμμικό σχήμα ψυκτικής μηχανής

Τα βασικά μέρη μιας τέτοιας εγκατάστασης είναι ο ατμοποιητής (evaporator), ο συμπιεστής (compressor) ο οποίο κινείται από έναν ηλεκτροκινητήρα (motor), ο συμπυκνωτής (condenser) και η βαλβίδα εκτόνωσης (expansion valve) η οποία ρίχνει τη πίεση του εργαζόμενου μέσου.

Ως ψυκτικά μέσα χρησιμοποιούνται διάφορα υγρά με πιο σύνηθες το R-134, οποιού το διάγραμμα p-h παρουσιάζεται παρακάτω :



Εικόνα 2.7 : Διάγραμμα p-h το R-134

Διαπιστώνεται πως η καμπάνα αυτού του υγρού διαφέρει αρκετά σε σχέση με αυτή του νερού, σε 2 βασικά σημεία. Το πρώτο είναι πως το κρίσιμο σημείο της είναι αρκετά χαμηλά, γεγονός που ευνοεί τη λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες, και το άλλο πως είναι κυρτή προς τα «δεξιά» του διαγράμματος.

Η απόδοση του κύκλου αυτού μπορεί να αυξηθεί με υπερθέρμανση στην έξοδο του ατμοποιητή (σημείο 3) και με υπόψυξη στην έξοδο του συμπυκνωτή (σημείο 1). Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολυβάθμιες μηχανές και μηχανές με περισσότερους ατμοποιητές.

Κύκλος απορρόφησης

Η ψύξη με απορρόφηση είναι μια μέθοδος ψύξης η οποία διαφέρει σε σχέση με τη ψύξη με μηχανική συμπίεση. Βασίζεται στον κύκλο απορρόφησης ο οποίος είναι γνωστός από τα τέλη του 18^{ου} αιώνα.

Η μέθοδος της ψύξης με απορρόφηση παρουσιάζει βασικές διαφορές σε σχέση με αυτήν της μηχανικής συμπίεσης. Αυτός ο τρόπος ψύξης συμφέρει σε ορισμένες περιπτώσεις.

Δεν υπάρχει η ανάγκη παροχής μεγάλης ηλεκτρικής ενέργειας διότι η μέθοδος αυτή δεν απαιτεί συμπίεση ατμού. Αντιθέτως υπάρχει ανάγκη για μια πηγή θερμότητας

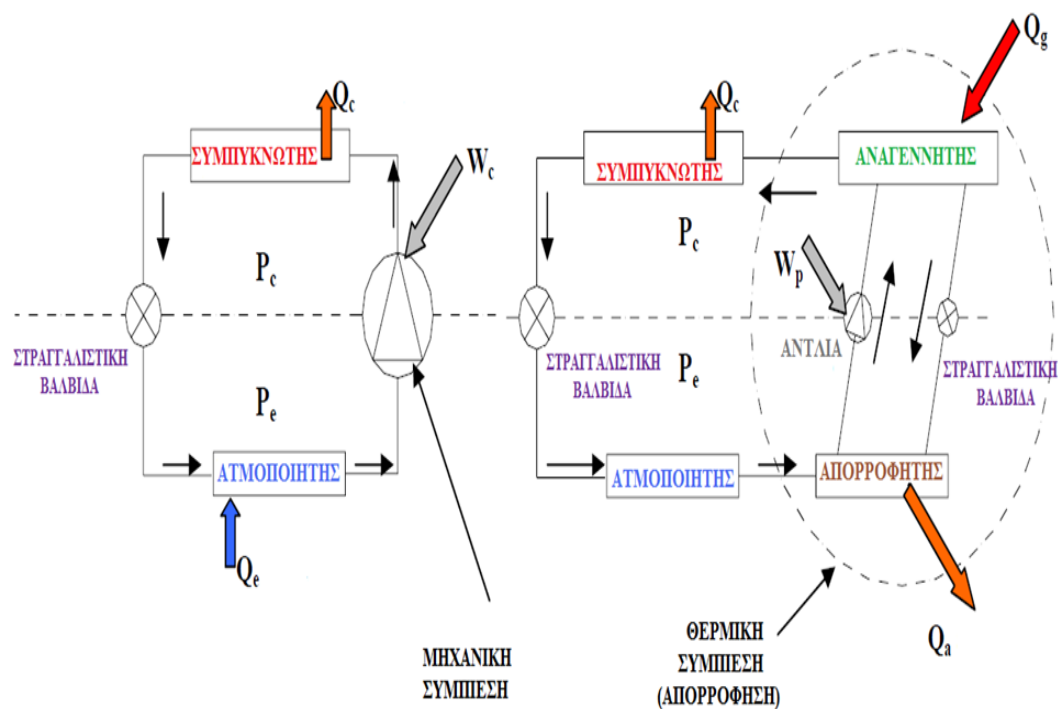
η οποία θα χρησιμοποιείται στον αναγεννητή. Αυτή η θερμότητα μπορεί να παρέχεται με συμβατικό τρόπο, δηλαδή καύση κάποιου καυσίμου (π.χ. φυσικό αέριο) ή και με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (π.χ. ζεστό νερό από συλλέκτες, εκμετάλλευση απορριπτόμενης ενέργειας, κλπ). Ένα ακόμη πλεονέκτημα της ψύξης με απορρόφηση είναι η απουσία περιστρεφόμενων μηχανολογικών εξαρτημάτων. Αυτό καθιστά την εγκατάσταση ανθεκτικότερη στην συντήρηση και της δίνει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Επιπρόσθετα στην ψύξη μέσω απορρόφησης, χρησιμοποιείται διάλυμα ως εργαζόμενο μέσο, το οποίο αποτελείται από 2 ρευστά, το ψυκτικό μέσο και τον απορροφητή. Τα κυριότερα εργαζόμενα μέσα που χρησιμοποιούνται στην πράξη είναι τα διαλύματα νερού-αμμωνίας (H_2O-NH_3) και το διάλυμα νερού-βρωμιούχου λιθίου ($LiBr-H_2O$). Στην πρώτη περίπτωση η αμμωνία (NH_3) δρα ως ψυκτικό μέσο και το νερό έχει το ρόλο του απορροφητή. Στην άλλη περίπτωση το νερό είναι το ψυκτικό μέσο, ενώ το διάλυμα βρωμιούχου λιθίου ($LiBr-H_2O$) δρα ως απορροφητής.

Ο ψυκτικός κύκλος με NH_3-H_2O χρησιμοποιείται σε βιομηχανικές εφαρμογές κατά κύριο λόγο (χημικές βιομηχανίες, διυλιστήρια υγρών καυσίμων κλπ), όπου δηλαδή υπάρχει απαίτηση για πολύ χαμηλές θερμοκρασίες ψύξης, έως και $-70^{\circ}C$. Το διάλυμα $LiBr-H_2O$ χρησιμοποιείται για ψύξη σε θερμοκρασίες πάνω από $4^{\circ}C$ κυρίως σε κτίρια και όπου απαιτείται ψύξη σε συνήθεις θερμοκρασίες για εφαρμογές κλιματισμού. Επίσης η πηγή θερμότητας για το κύκλο της αμμωνίας πρέπει να έχει υψηλότερη θερμοκρασία σε σχέση με αυτήν που απαιτείται για τον κύκλο του βρωμιούχου λιθίου.

Οι ψύκτες απορρόφησης χωρίζονται ανάλογα με το πόσες βαθμίδες διαθέτουν σε μονοβάθμιες και πολυβάθμιες μηχανές. Στην 1^η περίπτωση η εγκατάσταση αποτελείται από έναν μόνο αναγεννητή και το COP παίρνει τιμή 0.7, ενώ στην άλλη υπάρχουν ένας κύριος αναγεννητής και ένας ή περισσότεροι δευτερεύοντες αναγεννητές και το COP παίρνει τιμές έως και 1.2.

Το σχήμα που ακολουθεί δίνει μία σχηματική σύγκριση ανάμεσα στον ψύκτη με μηχανική συμπίεση και στον ψύκτη με απορρόφηση. Παρατηρείται πως οι 2 κύκλοι διαφέρουν μόνο στο «δεξί» κομμάτι τους, δηλαδή από την έξοδο του ατμοποιητή ως την είσοδο στο συμπυκνωτή. Αυτό είναι και το σημαντικότερο τμήμα της εγκατάστασης, διότι εκεί πραγματοποιείται η πρόσδοση της εξωτερικής ενέργειας που απαιτεί το σύστημα για να λειτουργήσει.



Εικόνα 2.8 : Σύγκριση κύκλων

Κλιματιστικά κτιρίων

Για τον κλιματισμό των κτιρίων χρησιμοποιούνται κλιματιστικές μονάδες του εμπορίου. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές διαφόρων κλιματιστικών συσκευών συναρτήσει της ισχύος και του συντελεστή συμπεριφοράς τους [11] :

Πίνακας 2.1 : Κόστος κλιματιστικών

Ισχύς (Btu/h)	COP	Κόστος (€)
9000	2.4	270
9000	3.4	350
12000	2.7	300
12000	2.9	340
12000	3.4	580
18000	3.4	880
24000	3.1	900

Παρατηρείται ότι το κόστος αυξάνει και με την ισχύ αλλά και με τον συντελεστή συμπεριφοράς, γεγονός που είναι απόλυτα λογικό. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται μία κλιματιστική συσκευή που χρησιμοποιείται για ψύξη εσωτερικών χώρων.



Εικόνα 2.9: Κλιματιστική συσκευή οικιακής χρήσης

Για τη διαστασιολόγηση του κλιματισμού ενός χώρου είναι γνωστό από τη βιβλιογραφία ότι μία συσκευή ισχύος 10.000 Btu/h επαρκεί για ένα χώρο των 25 τετραγωνικών μέτρων.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το κόστος των μηχανών απορρόφησης είναι αυξημένο σε σχέση με τα κλασικά κλιματιστικά και πιο συγκεκριμένα στα 1500 €/KW.

Συμπερασματικά, η θέρμανση και ψύξη των εσωτερικών χώρων, βασίζεται στις μεθόδους που αναλύθηκαν πιο πάνω. Αυτές οι μέθοδοι, άλλες περισσότερο και άλλες λιγότερο, μολύνουν το περιβάλλον, καταναλώνουν μεγάλα ποσά ενέργειας ή δεν συμφέρουν οικονομικά. Έτσι, γίνεται εύλογο ότι είναι βασικός στόχος του **ενεργειακού σχεδιασμού** κτιρίων η μείωση των θερμικών και ψυκτικών φορτίων. Αυτό μπορεί να συμβεί μέσω διάφορων τεχνικών που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία έτη. Οι βασικές έννοιες που αφορούν την μείωση των θερμικών και ψυκτικών φορτίων στα κτίρια, αναλύονται στο παρακάτω κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΚΕΛΥΦΟΣ

Ο ρόλος του κτιριακού κελύφους είναι να μειώνει τις επίδραση των εξωτερικών αλλαγών στο εσωτερικό του κτιρίου και να παρέχει θερμική άνεση εντός αυτού. Με άλλα λόγια το κέλυφος πρέπει να μην αφήνει τις μεταβολές της εξωτερικής θερμοκρασίας να επιδρούν στο εσωτερικό του κτιρίου ή να μειώνει την επίδραση τους. Επίσης πρέπει να εκμεταλλεύεται την ηλιακή ακτινοβολία ώστε να τις επιτρέπει να εισάγεται εντός του κτιρίου τις επιθυμητές ώρες και όχι όταν αυτή είναι άμεσα διαθέσιμη. Τα δύο σημαντικότερα μεγέθη που επηρεάζουν το κτιριακό κέλυφος, και αναλύονται σε αυτό το κεφάλαιο, είναι η θερμική διαπερατότητα των εξωτερικών δομικών στοιχείων (τοιχοί, οροφές, κλπ) και η θερμική μάζα αυτών. Η θερμική διαπερατότητα εξαρτάται κυρίως από την ύπαρξη μόνωσης, ενώ η θερμική μάζα από τη θερμοχωρητικότητα και το πάχος των δομικών στοιχείων.

3.1 Θερμική διαπερατότητα- Μόνωση

Η θερμική διαπερατότητα είναι ένα πολύ σημαντικό μέγεθος για τη μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς των κτιρίων γιατί δείχνει πόσο εύκολα η θερμότητα διέρχεται μέσα από τα δομικά στοιχεία. Με άλλα λόγια, ένας τοίχος με μεγάλη θερμική διαπερατότητα επιτρέπει να μεταφέρονται μεγαλύτερα θερμικά φορτία διά μέσου του σε σχέση με έναν όμοιο τοίχο μικρότερης διαπερατότητας. Το μέγεθος αυτό επηρεάζεται από τα υλικά του τοίχου, καθώς και από το πάχος αυτών των υλικών. Όπως είναι λογικό, ένας τοίχος με μεγαλύτερο πάχος «δυσκολεύει» τη διέλευση της θερμότητας διά μέσου αυτού σε σχέση με έναν λεπτό τοίχο με λιγότερη μάζα.

Η θερμική διαπερατότητα (U) είναι μέγεθος αντιστρόφως ανάλογο με τη θερμική αντίσταση (R) και υποδηλώνει την ευκολία διέλευσης της θερμότητας ενώ η αντίσταση δείχνει τη δυσκολία. Όταν ένα νέο στρώμα υλικού προστίθεται στο τοίχο, η αντίσταση αυξάνεται κατά L/k , όπου L το πάχος του στρώματος και k η θερμική αγωγιμότητα του υλικού, ενώ η διαπερατότητα ελαττώνεται. Έτσι προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις **[10]** :

$$U = \frac{1}{R}, \quad (3.1)$$

$$R = \sum_{j=1}^N \left(\frac{L}{K} \right)_j + \frac{1}{h_{in}} + \frac{1}{h_{out}}, \quad (3.2)$$

$$U = \frac{1}{\sum_{j=1}^N \left(\frac{L}{K} \right)_j + \frac{1}{h_{in}} + \frac{1}{h_{out}}}, \quad (3.3)$$

Η πρώτη σχέση δείχνει πως η διαπερατότητα και η αντίσταση είναι μεγέθη αντιστρόφως ανάλογα και οι επόμενες δίνουν τον τρόπο υπολογισμού τους για τοίχους κτιρίων. Στους τύπους εισάγονται οι συναγωγιμότητες με τον εξωτερικό και εσωτερικό αέρα. Πιο συγκεκριμένα, h_{out} είναι ο συντελεστής συναγωγιμότητας περιβάλλοντος και τοίχου, ενώ h_{in} είναι ο συντελεστής συναγωγιμότητας τοίχου και εσωτερικού αέρα. Μια μέση τιμή για τη συναγωγιμότητα εντός του κτιρίου είναι περίπου $8 \text{ W/m}^2\text{K}$, ενώ είναι $16 \text{ W/m}^2\text{K}$ για την εξωτερική. Αυτό συμβαίνει διότι οι εξωτερικές συνθήκες προκαλούν πιο έντονα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας, με βασική αιτία τη μεγαλύτερη ταχύτητα του αέρα εκτός κτιρίου σε σχέση με τον εσωτερικό που είναι σχεδόν ακίνητος [9].

Βασική επιδίωξη κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού κάθε κτιρίου είναι η ελαχιστοποίηση της ροής θερμότητας με το εξωτερικό περιβάλλον. Αυτό επιτυγχάνεται με την εισαγωγή ενός στρώματος μόνωσης. Θερμομόνωση καλείται το σύνολο των υλικών και των τρόπων μείωσης της ροής θερμότητας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου. Δηλαδή όπου παρεμβάλλεται θερμομονωτικό υλικό η ροή θερμότητας μειώνεται αισθητά. Κάθε υλικό χαρακτηρίζεται από την θερμική του αντίσταση R_o . Τα υλικά θερμομόνωσης έχουν μεγάλο R_o και ταυτόχρονα χαμηλή διαπερατότητα (U), όπως φαίνεται και από τη σχέση 3.1. Τα μονωτικά υλικά εμφανίζουν μεγάλη θερμική αντίσταση λόγω των εγκλωβισμένων ποσοτήτων αέρα στους πόρους τους. Σημαντική θερμομονωτική ικανότητα εμφανίζουν τα πορώδη υλικά και μάλιστα αυτή η ικανότητα είναι τόσο μεγαλύτερη όσο περισσότερους και μικρότερους πόρους διαθέτουν. Η μονωτική τους ικανότητα διατηρείται όταν αυτά παραμείνουν ξηρά. Οι πόροι τους πρέπει να γεμίζουν με αέρα και όχι με νερό, διότι η θερμότητα μεταφέρεται πολύ πιο εύκολα μέσα από το νερό από ότι μέσω αέρα.

Άρα, τα κτίρια που θερμομονώνονται έχουν αυξημένη θερμική αντίσταση και μικρή ροή θερμότητας με το εξωτερικό περιβάλλον καθώς και με άλλους χώρους εντός κτιρίου. Η ροή θερμότητας μπορεί και να γίνει μηδενική αν αυξηθεί το πάχος του μονωτικού υλικού, διότι όπως δείχνει η σχέση 3.2, η θερμική αντίσταση εξαρτάται από το πάχος του προς την αγωγιμότητά του (L/k). Πλέον όμως τίθεται ζήτημα οικονομίας χώρου καθώς και κόστος του υλικού. Σε κεντρικά κτίρια επιλέγονται μονωτικά υλικά μεγάλου κόστους διότι το κόστος του ωφέλιμου χώρου είναι πολύ υψηλό. Όταν όμως ο χώρος δεν είναι βασικό ζητούμενο αναζητείται ο ιδανικός συνδυασμός κόστους και εξοικονόμησης ενέργειας μέσω της σωστής θερμομόνωσης. Τεχνοοικονομικά δηλαδή, σωστή θερμομόνωση είναι αυτή που δεν απαιτεί υπερβολικό κόστος κατασκευής και εξασφαλίζει μακροχρόνιο περιορισμό στην χρήση τεχνητών συστημάτων θέρμανσης και ψύξης.

Το ενεργειακό κέρδος από την τοποθέτηση θερμομόνωσης σε ένα κτίριο δεν είναι ακριβώς ανάλογο με το πάχος της στρώσης μόνωσης, διότι από μία τιμή πάχους και άνω η ροή θερμότητας δεν μειώνεται περαιτέρω.

Τα θερμομονωτικά υλικά τοποθετούνται κατά κύριο λόγο στους εξωτερικούς τοίχους ενός κτιρίου, αλλά και στο δάπεδο εάν αυτό συνορεύει με μη θερμαινόμενους χώρους ή τον εξωτερικό αέρα καθώς και σε εσωτερικούς τοίχους αν αυτοί συνορεύουν με μη θερμαινόμενους χώρους.

Μία σωστή τοποθέτηση θερμομόνωσης έχει πολλές θετικές συνέπειες για ένα κτίριο. Εξασφαλίζει μεγαλύτερη θερμική άνεση στο εσωτερικό του χώρου, μειώνει τα λειτουργικά έξοδα του κτιρίου διότι μειώνει τα θερμικά και ψυκτικά φορτία και διατηρεί για μεγάλο διάστημα τα θερμικά ηλιακά κέρδη στο εσωτερικό του χώρου. Ακόμη προστατεύει τον εσωτερικό χώρο από θορύβους αφού τα περισσότερα θερμομονωτικά υλικά είναι και ηχομονωτικά. Υπολογίζεται πως η θερμομόνωση σε ένα κτίριο αυξάνει περίπου κατά 4% το κατασκευαστικό κόστος.

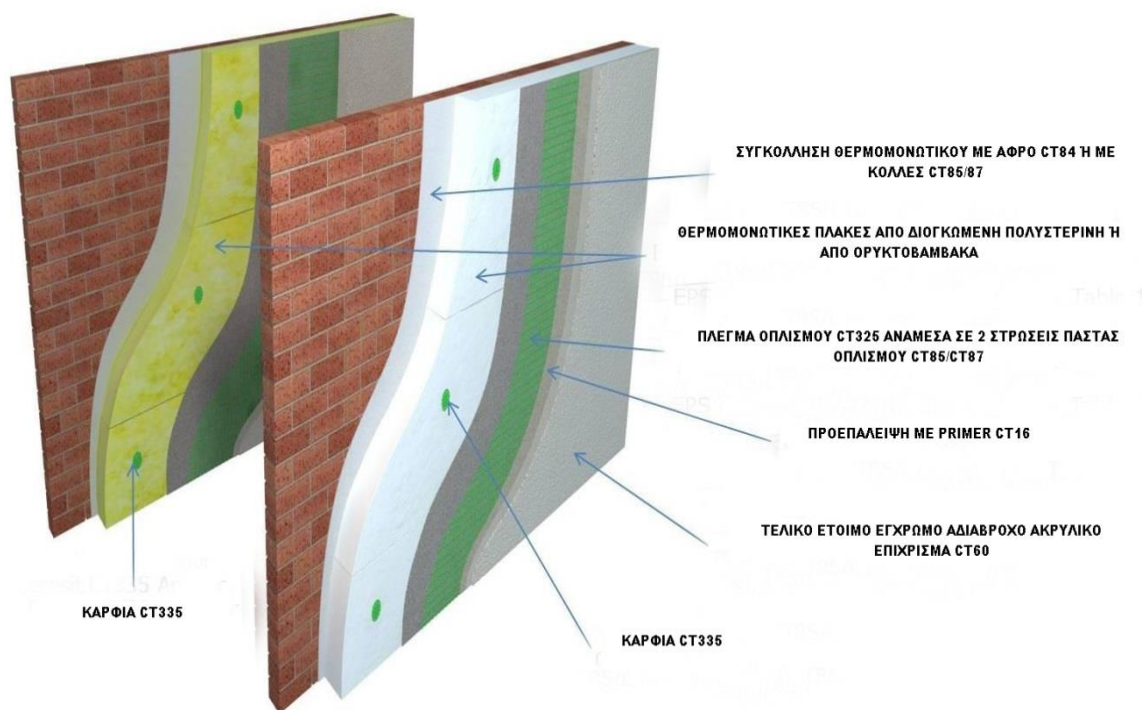
Το κτιριακό κέλυφος παρουσιάζει ορισμένα σημεία που έχουν μικρή θερμική αντίσταση. Αυτά είναι αιτία πολλών θερμικών απωλειών και ονομάζονται θερμογέφυρες. Αυτές συνήθως βρίσκονται μεταξύ δύο διαφορετικών υλικών. Ακόμη, υπάρχουν μεταξύ όμοιων υλικών διαφορετικού πάχους, σε συνδέσεις εξωτερικών δομικών στοιχείων και στις πλευρές των ανοιγμάτων. Δημιουργούνται σε σημεία που ενώνονται παράθυρα, σε συμβολές δοκών και υποστυλωμάτων, ανάμεσα σε τοίχο και οροφή καθώς και σε δομικά στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Το στρώμα της μόνωσης έχει συνήθως μικρό πάχος, περίπου 3 με 6 cm και τοποθετείται σε κάποια ενδιάμεση θέση στον τοίχο. Το βασικό χαρακτηριστικό των μονωτικών υλικών είναι η πάρα πολύ μικρή θερμική τους αγωγιμότητα, η οποία είναι της τάξης των 0.03 W/m K, δηλαδή μια τάξη μεγέθους κάτω από αυτήν των συνήθων δομικών υλικών. Η μικρή αυτή τιμή στην αγωγιμότητα οδηγεί στην συνολική μείωση στο συντελεστή διαπερατότητας και έτσι στην θερμική «θωράκιση» του κτηρίου, ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες.

Οι περισσότεροι τοίχοι των σύγχρονων κτιρίων αποτελούνται από πολλές στρώσεις και κάθε στρώση έχει τα δικά της χαρακτηριστικά. Πέρα από την επιλογή των στρώσεων των υλικών, πολύ σημαντική είναι και η σωστή διάταξη τους μέσα στον τοίχο. Η θερμομόνωση των κτιρίων μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, αναλόγως την χρήση, τις απαιτήσεις του κτιρίου, τα υλικά και το πάχος των υλικών θερμομόνωσης. Οι τρόποι αυτοί παρουσιάζονται παρακάτω:

Εσωτερική θερμομόνωση

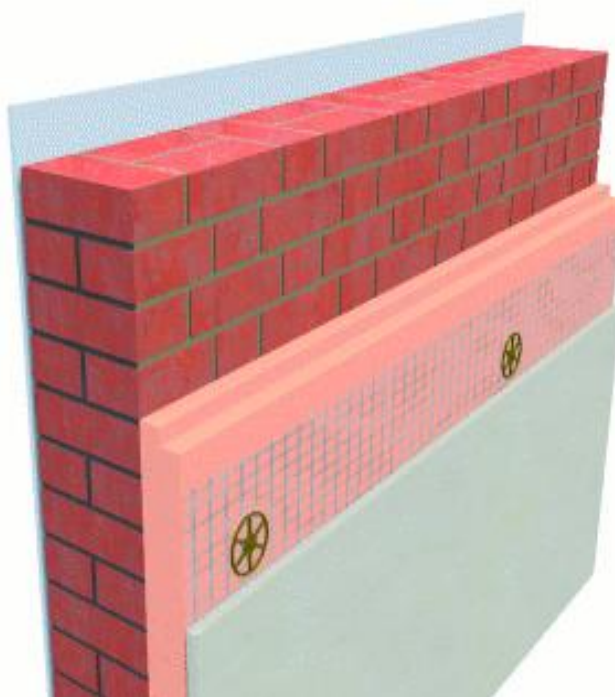
Το μονωτικό υλικό τοποθετείται στην εσωτερική πλευρά του τοίχου. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε κτίρια με περιοδική χρήση όπως εκκλησίες, κινηματογράφους. Παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα όπως: γρήγορη θέρμανση χώρου, απλή κατασκευή, περιορισμένο χρόνο κατασκευής και είναι οικονομικός τρόπος θέρμανσης. Τα μειονεκτήματα είναι: μείωση του ωφέλιμου χώρου, κίνδυνος επιφανειακής συμπύκνωσης υδρατμών, έλλειψη προστασίας δομικών στοιχείων από θερμοκρασιακές μεταβολές και δυσκολίες στην τοποθέτηση ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων.



Εικόνα 3.1: Παράδειγμα εσωτερικής μόνωσης

Εξωτερική θερμομόνωση

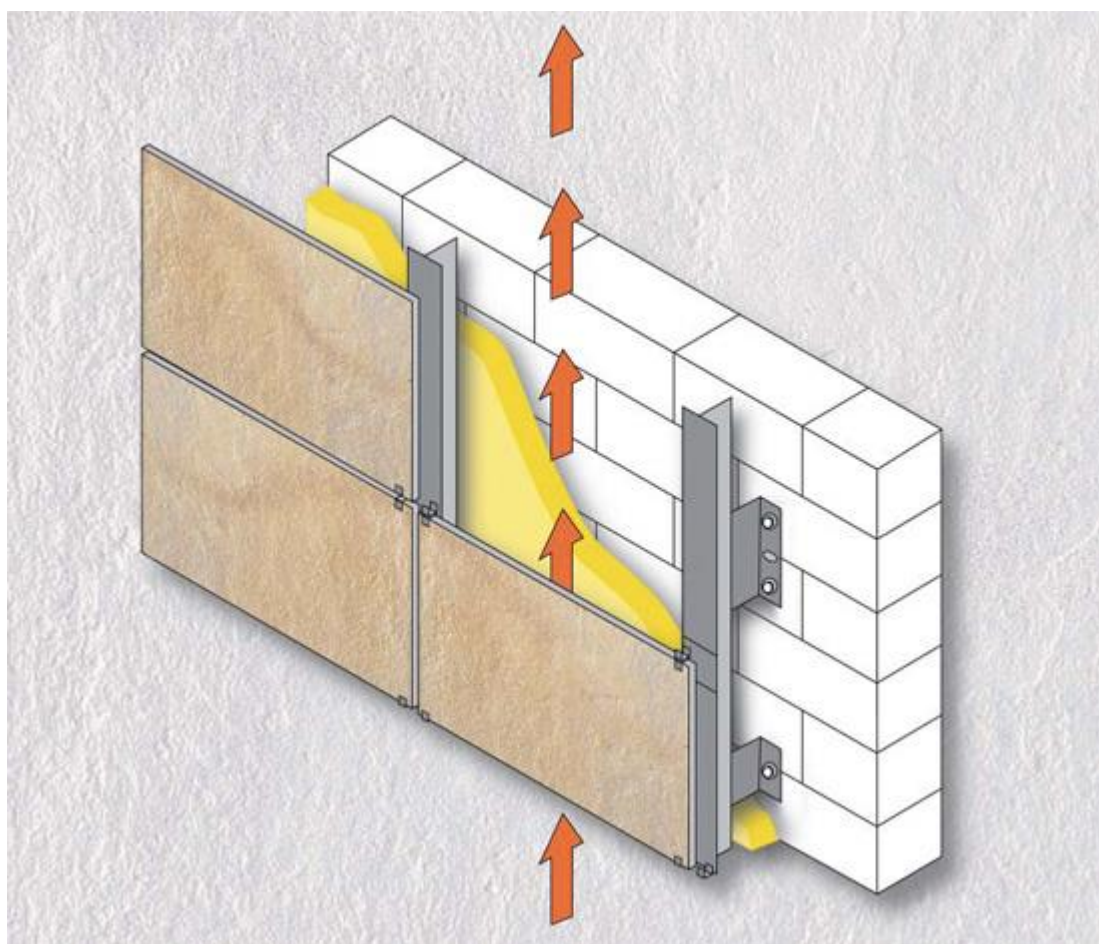
Σε αυτό τον τρόπο θερμομόνωσης το μονωτικό υλικό τοποθετείται στην εξωτερική πλευρά του τοίχου. Προστατεύεται από τις εξωτερικές συνθήκες με επενδύσεις φύλλων αλουμινίου, τσιμέντο κλπ. Η εσωτερική πλευρά του τοίχου καλύπτεται με επίχρισμα. Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι: η κάλυψη των θερμογεφύρων, στις πλάκες, τις κολώνες και τις δοκούς, η θερμοχωρητικότητα του τοίχου είναι πλήρως εκμεταλλεύσιμη, η λειτουργία των εσωτερικών χώρων δεν παρεμποδίζεται και το κτιριακό κέλυφος είναι προστατευμένο από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες. Αυτή η μέθοδος όμως, παρουσιάζει και ορισμένα μειονεκτήματα όπως: την ειδική προστασία του μονωτικού υλικού από τις εξωτερικές συνθήκες, το μεγάλο κόστος που έχει και την αργή θέρμανση που πραγματοποιεί για το χώρο.



Εικόνα 3.2: Παράδειγμα εξωτερικής μόνωσης

Αεριζόμενη θερμομόνωση

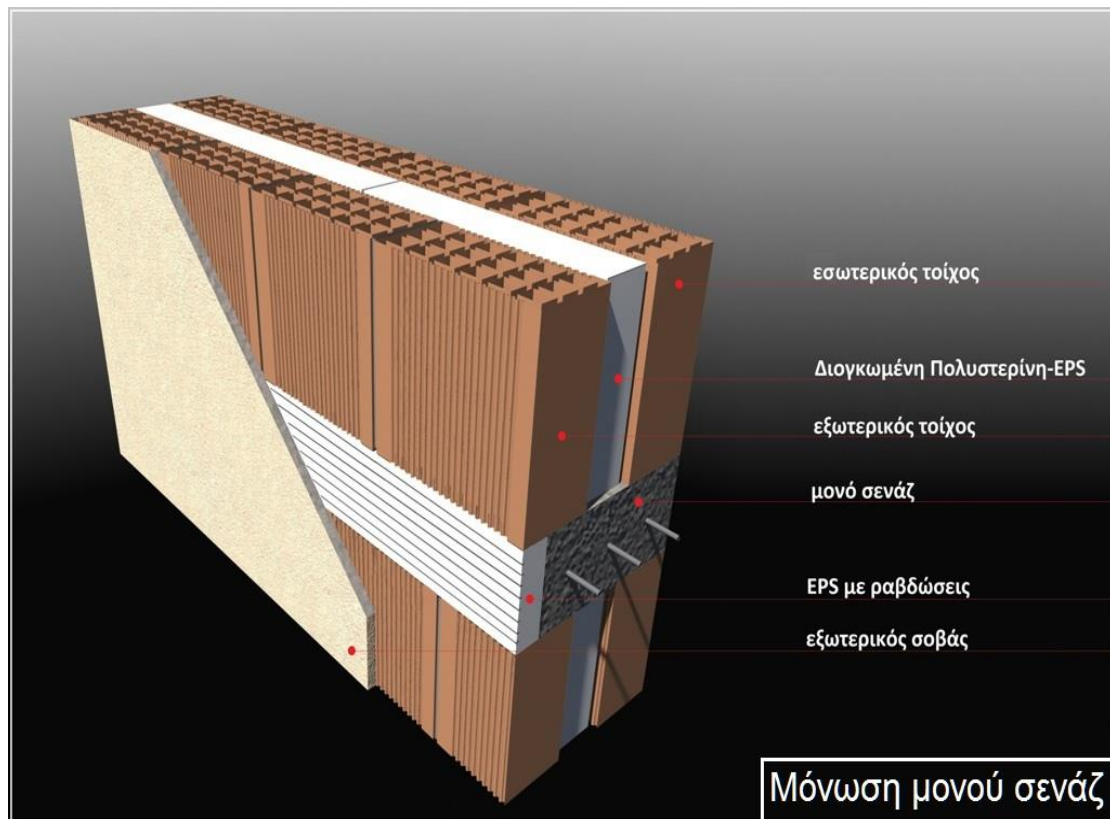
Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει όλα τα πλεονεκτήματα της παραπάνω μεθόδου (εξωτερική θερμομόνωση), ενώ παράλληλα προστατεύει τον τοίχο από την υγρασία. Σε αυτή τη μέθοδο το μονωτικό υλικό τοποθετείται στην εξωτερική πλευρά του τοίχου και στερεώνεται με ανοξείδωτα καρφιά. Αναρτάται οπλισμένη τσιμεντόπλακα, σε απόσταση 2 έως 4 εκατοστών από το μονωτικό υλικό. Αυτή η τσιμεντόπλακα έχει θυρίδες εξαερισμού. Αποτέλεσμα αυτού είναι στο κενό που υπάρχει να κυκλοφορεί αέρας μπροστά από το θερμομονωτικό υλικό με συνέπεια η θερμότητα και η υγρασία να απομακρύνονται. Το εξωτερικό μέρος του τοίχου φέρει επίχρισμα. Τα υλικά αυτά, που παρεμποδίζουν την θερμότητα και το ψύχος να εισέλθει στο χώρο, δεν έχουν την ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας, λόγω της μικρής τους μάζας.



Εικόνα 3.3: Αεριζόμενη τοιχοποιία

Θερμομόνωση στον πυρήνα του τοίχου

Σε αυτή τη μέθοδο το μονωτικό υλικό τοποθετείται στο μέσον διπλού τοίχου που εσωτερικά και εξωτερικά φέρει επίχρισμα (σοβάς). Είναι συνήθης τρόπος και σχετικά οικονομικός. Για να γίνει πιο αποδοτικός αυτός ο τρόπος, πρέπει το μονωτικό υλικό να τοποθετηθεί κοντά στο εσωτερικό μέρος του τοίχου.



Εικόνα 3.4: Μόνωση σε ενδιάμεση θέση στον τοίχο

Θερμομονωτικά τούβλα

Ολόκληρη η τοιχοποιία χτίζεται με θερμομονωτικά τούβλα, τα οποία εξασφαλίζουν τον απαιτούμενο συντελεστή θερμοπερατότητας στον τοίχο. Και οι 2 πλευρές του τοίχου φέρουν επίχρισμα, για την εξασφάλιση της προστασίας από την υγρασία.



Εικόνα 3.5: Τούβλο που φέρει μονωτικό υλικό

3.2 Θερμική Μάζα

Μία άλλη πολύ σημαντική παράμετρος του κτιριακού κελύφους η οποία επηρεάζει τη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου είναι η θερμική του μάζα. Η θερμική μάζα ενός κτιρίου είναι το μέτρο της αδράνειας του στις θερμοκρασιακές μεταβολές του περιβάλλοντος. Η θερμική μάζα του κελύφους απαρτίζεται από τις επί μέρους θερμικές μάζες των δομικών στοιχείων (τοιχοί, οροφές, πατώματα, κλπ). Σε κάθε δομικό στοιχείο η θερμική μάζα καθορίζεται από τη μάζα του δομικού στοιχείου και την θερμοχωρητικότητα του (c_p).

Με άλλα λόγια, ένας τοίχος με μεγάλο πάχος και μεγάλο συντελεστή θερμοχωρητικότητας έχει μεγάλη θερμική μάζα. Παρακάτω παρουσιάζονται οι διάφορες σχέσεις που μπορούν να εκφράσουν την έννοια της θερμικής μάζας.

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T = \rho \cdot V \cdot c_p \cdot \Delta T = V \cdot c_{vol} \cdot \Delta T = A \cdot L \cdot c_{vol} \cdot \Delta T \quad (3.4)$$

$$c_{vol} = \rho \cdot c_p \quad (3.5)$$

$$c_{area} = L \cdot c_{vol} \quad (3.6)$$

Η σχέση (3.4) παρουσιάζει τη βασική εξίσωση αποθήκευσης της θερμότητας στα σώματα μέσω της αύξησης της θερμοκρασίας, καθώς και παραλλαγές της μέσω του ορισμού της ογκομετρικής θερμοχωρητικότητας c_{vol} (kJ/m³K) και της επιφανειακής c_{area} (kJ/m²K) οι οποίες παρουσιάζονται στις επόμενες σχέσεις.

Ως θερμική μάζα (thermal mass) του κτιρίου ορίζεται το άθροισμα των θερμικών μαζών όλων των δομικών στοιχείων. Για κάθε δομικό στοιχείο η θερμική μάζα είναι το άθροισμα των θερμικών μάζα των επιμέρους στρωμάτων. Ο τύπος υπολογισμού της δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

$$TM = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_i} A_i \cdot L_{ij} \cdot c_{vol,ij} \quad (3.7)$$

Όπου M είναι ο αριθμός των δομικών στοιχείων (τοίχοι, οροφές, κλπ) και N_i αριθμός των στρωμάτων του δομικού στοιχείου i . A_i είναι το «καθαρό» εμβαδό της επιφάνειας, δηλαδή έχει αφαιρεθεί το κομμάτι των υαλοπινάκων του οποίου η θερμική μάζα θεωρείται αμελητέα.

3.2.1 Πλεονεκτήματα Θερμικής Μάζας

Η αύξηση της θερμικής μάζας σε ένα κτίριο οδηγεί στην καλύτερη θερμική συμπεριφορά του. Αυτό συμβαίνει για 2 βασικούς λόγους:

- Μειώνει την διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας και έτσι το χειμώνα αυξάνεται η ελάχιστη εσωτερική θερμοκρασία και το καλοκαίρι μειώνεται η μέγιστη εσωτερική θερμοκρασία.
- Δημιουργεί χρονική υστέρηση στην διαβίβαση των θερμικών φορτίων εντός του κτιρίου. Έτσι μετατοπίζονται τα θερμοκρασιακά μέγιστα αργότερα κατά τη διάρκεια της μέρας. Πιο συγκεκριμένα, το χειμώνα το μέγιστο της εσωτερικής θερμοκρασίας μετατοπίζεται τις απογευματινές προς βραδινές ώρες όπου υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη για θέρμανση. Το καλοκαίρι αυτή η μετατόπιση είναι χρήσιμη διότι μειώνεται το μέγιστο φορτίο ψύξης.

3.2.2 Θερμοχωρητικότητα δομικών στοιχείων

Θερμοχωρητικότητα ενός δομικού στοιχείου είναι η ικανότητά του να αποθηκεύει θερμότητα μέσω της αύξησης της θερμοκρασίας του [10]. Η θερμοχωρητικότητα είναι ανάλογη της μάζας του υλικού και της ειδικής θερμοχωρητικότητας. Το κάθε υλικό έχει τη δική του τιμή ειδικής θερμοχωρητικότητας και στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται μερικές ενδεικτικές τιμές:

Πίνακας 3.1: Τιμές ειδικής θερμοχωρητικότητας υλικών

Υλικό	Ειδική θερμοχωρητικότητα (J/kgK)
Νερό	4200
Αέρας	1005
Τούβλο	840
Γυψοσανίδα	1000
Πολυουρεθάνη	2090
Χάλυβας	450

Τα δομικά στοιχεία με μεγάλη θερμοχωρητικότητα, αποθηκεύουν μεγαλύτερα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας, με συνέπεια να μειώνονται τα θερμικά και τα ψυκτικά φορτία του κτιρίου. Επίσης, δημιουργείται μια χρονική υστέρηση η οποία συμβάλλει στη θερμική άνεση του χώρου. Έτσι, η ειδική θερμοχωρητικότητα είναι βασική παράμετρος για τον ενεργειακό σχεδιασμό ενός κτιρίου.

3.2.3 Υλικά αλλαγής φάσης

Όλα τα υλικά αναλόγως τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας τους μπορεί να βρίσκονται σε μία από τις τρεις φάσεις, στερεή, υγρή ή αέρια. Αν ταξινομηθούν με βάση τον τρόπο αποθήκευσης ενέργειας τότε χωρίζονται σε αυτά που αποθηκεύουν αισθητή και αυτά που αποθηκεύουν λανθάνουσα θερμότητα. Τα πρώτα χαρακτηρίζονται για τη θερμική τους συμπεριφορά από την ειδική θερμοχωρητικότητα τους υπό σταθερή πίεση ή όγκο. Τα άλλα, που αποθηκεύουν λανθάνουσα θερμότητα το μέγεθος που χαρακτηρίζει την θερμική συμπεριφορά τους είναι η λανθάνουσα θερμότητα που απαιτείται για την αλλαγή φάσης. Επίσης, το θερμοκρασιακό εύρος στο οποίο γίνεται η αλλαγή φάσης είναι σημαντική παράμετρος για την επιλογή του υλικού αλλαγής φάσης που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε κάθε εφαρμογή.

Τα υλικά που αλλάζουν φάση στο εύρος των θερμοκρασιών της εφαρμογής που χρησιμοποιούνται ονομάζονται PCMs (Phase Change Materials). Ιδανικό PCM υλικό θεωρείται αυτό που παρουσιάζει μεγάλη τιμή λανθάνουσας θερμότητας, υψηλή αγωγιμότητα, χημική σταθερότητα, θερμοκρασία τήξης σύμφωνη με το θερμοκρασιακό εύρος της εφαρμογής, μικρό κόστος παραγωγής και μικρή τοξικότητα. Το πιο γνωστό PCM είναι το νερό που κατά την αλλαγή φάσης του σε πάγο μπορεί να αποθηκεύσει μεγάλα ποσά θερμότητας. Έτσι τα πρώτα PCM που δημιουργήθηκαν είχαν ως βάση το νερό για να εκμεταλλευτούν τα πλεονεκτήματα του αλλά να μην παρουσιάζουν τα προβλήματα που δημιουργούνται από τη χρήση πάγου. Τα πρώτα PCMs είναι τα ενυδρά άλατα. Είναι σχετικά αδρανείς ενώσεις αλάτων με μόρια νερού. Αυτά τα PCMs αναπτύσσονται και τελειοποιούνται ακόμη.

Τα PCMs χρησιμοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών για άμεση ή έμμεση αποθήκευση θερμότητας. Μερικά παραδείγματα εφαρμογών είναι: εντοιχισμός τοιχοποιίας, κλιματισμός, ενισχυμένα ηλιακά συστήματα, εναλλάκτες θερμότητας για χρήση σε θερμοκήπια κλπ.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί μόνωσης σε πολλές εφαρμογές λόγω της ικανότητας τους να αποθηκεύουν θερμότητα και να την εκλύουν αργότερα μέσα στην μέρα, όταν κάτι τέτοιο είναι επιθυμητό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ TRNSYS

4.1 Εισαγωγή στο TRNSYS

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιείται το λογισμικό TRNSYS. Το TRNSYS είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον προσομοίωσης μεταβαλλόμενων συστημάτων στο χρόνο. Το λογισμικό αυτό χρησιμοποιείται από μηχανικούς και ερευνητές παγκοσμίως για την επικύρωση νέων ενεργειακών σχεδιασμών, και για τη μελέτη συστημάτων. Το λογισμικό αυτό μελετά από απλά οικιακά συστήματα για ζεστό νερό χρήσης ως και πολύπλοκα πολυζωνικά κτίρια, ενώ παράλληλα μπορεί να προσομοιώσει συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (αιολικά, ηλιακά, φωτοβολταϊκά, συστήματα υδρογόνου), κλπ.

Επίσης, το TRNSYS χρησιμοποιείται για λεπτομερή προσομοίωση θερμικών ηλιακών συστημάτων και ειδικότερα στις περιπτώσεις ηλιακής θέρμανσης και κλιματισμού. Κύριο πλεονέκτημα του είναι ότι ο χρήστης μπορεί να βρει μία μεγάλη ποικιλία στοιχείων (components), καθώς και να κατασκευάσει τα δικά του στοιχεία. Δηλαδή το TRNSYS είναι ένα επεκτάσιμο περιβάλλον. Με άλλα λόγια, ο πηγαίος κώδικας του TRNSYS δίδεται στο χρήστη που μπορεί να τον τροποποιήσει για να ικανοποιήσει καταλλήλως τις εκάστοτε ανάγκες του. Η αρχιτεκτονική του προγράμματος είναι βασισμένη σε αρχεία DLL και έτσι υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας νέων μοντέλων με τη χρησιμοποίηση κοινών γλωσσών προγραμματισμού (Fortran, C, C++ κλπ.).

Παράλληλα, το TRNSYS συνδέεται εύκολα με άλλες εφαρμογές όπως το Microsoft Excel, Matlab κλπ. Οι εφαρμογές στο TRNSYS δημιουργούνται με τη μέθοδο drag-drop (γραφική ένωση στοιχείων) στο Studio προσομοίωσης. Η μηχανή προσομοίωσης του TRNSYS περιέχει τα μαθηματικά μοντέλα των στοιχείων, τα οποία συνδέονται με το Studio μέσω του αρχείου Proforma. Η Proforma περιέχει τις εισόδους και τις εξόδους (inputs-outputs) ενός στοιχείου, τις μεταβλητές κλπ.

4.1.1 Ιστορική Αναδρομή

Το TRNSYS βρίσκεται στην αγορά από 1975 και δημιουργήθηκε από 2 εργαστήρια, το Solar Energy Lab του University of Wisconsin-Madison και το Solar Energy Applications Lab του University of Colorado. Το 1970, το πανεπιστήμιο του Wisconsin ανέλαβε τη σύνταξη ενός κώδικα σε γλώσσα Fortran που θα προέβλεπε τη χρήση της ηλιακής ενέργειας σε ένα κτίριο στο Κολοράντο, το οποίο σπίτι είχε όλα τα νέα για την εποχή συστήματα ηλιακής ενέργειας. Σε μεταγενέστερο project, το ίδιο πανεπιστήμιο ανέπτυξε μια μέθοδο που περιέγραφε τη συμπεριφορά κάθε στοιχείου ενός ενεργειακού συστήματος με μια υπορουτίνα (Subroutine) σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran με συγκεκριμένες εισόδους και εξόδους, καθώς και παραμέτρους. Έτσι μέσω της Fortran ήταν δυνατόν να μοντελοποιηθεί κάθε

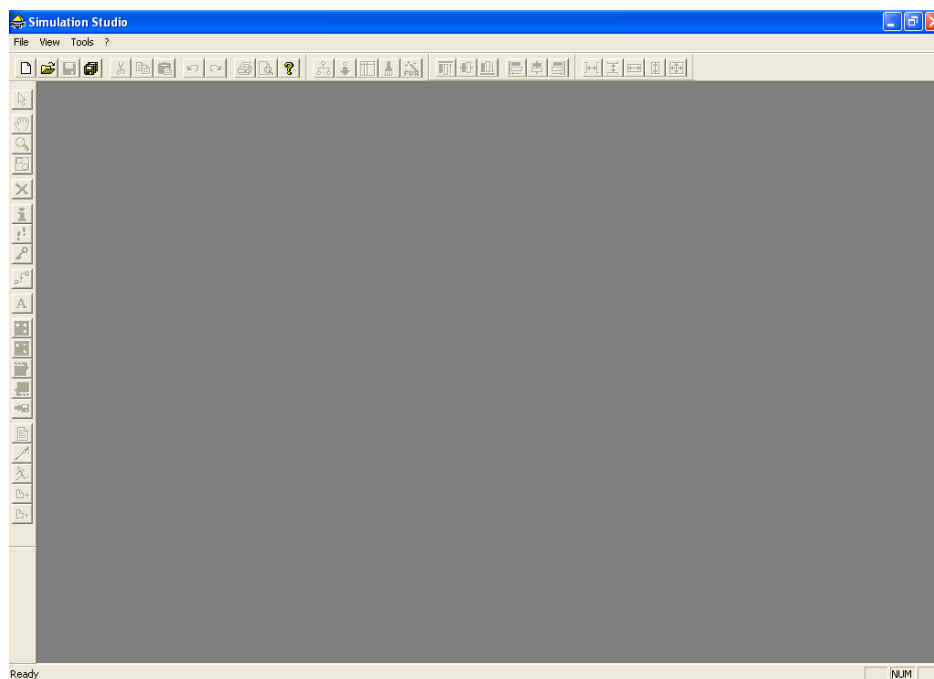
ενεργειακό σύστημα. Με τη δημιουργία του TRNSYS η διαδικασία προσομοίωσης ενός ενεργειακού συστήματος μετασχηματίστηκε σε μια διαδικασία επιλογής (drag and drop) κατάλληλων στοιχείων τέτοιου τύπου και στη σωστή μεταξύ τους σύνδεση.

4.2 Simulation Studio (Στούντιο Προσομοίωσης)

Στο Στούντιο Προσομοίωσης δημιουργούνται οι εφαρμογές με τη μέθοδο drag drop επιλέγοντας τα στοιχεία στο παράθυρο εργασίας. Αυτά συνδέονται μεταξύ τους καθορίζοντας τις παραμέτρους προσομοίωσης [12].

Το Στούντιο Προσομοίωσης δημιουργεί αρχείο με τα δεδομένα του προγράμματος προσομοίωσης του χρήστη (*.trf) και περιλαμβάνει ένα διαχειριστή των εξόδων του προγράμματος. Εκεί ο χρήστης καθορίζει τις μεταβλητές εξόδου, ποιες θα εκτυπωθούν κλπ.

Ακόμη, το Στούντιο Προσομοίωσης περιλαμβάνει καταγραφέα σφαλμάτων που έχει όλη την εποπτεία των γεγονότων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Στο Στούντιο Προσομοίωσης πραγματοποιούνται πολλές ακόμα εργασίες, όπως η ανάγνωση των εξαγόμενων αρχείων, η δημιουργία νέων υπολογιστικών μοντέλων και η επεξεργασία των παραμέτρων, των εισόδων και των εξόδων.



Εικόνα 4.1: Αρχικό παράθυρο του *TRNSYS Simulation Studio*.

4.2.1 Σύνοψη περιγραφή των παραθύρων του Στούντιο Προσομοίωσης.

Κεντρικό παράθυρο (main window)

Αρχικά ο χρήστης βλέπει το main window. Αυτό περιέχει pull-down επιλογές, toolbars (μπάρες εργαλείων) και ένα ή περισσότερα ενεργά παράθυρα (active windows).

Το κεντρικό παράθυρο αρχικά είναι άδειο. Όλα τα απαραίτητα χαρακτηριστικά του Στούντιο Προσομοίωσης και όλα τα εργαλεία είναι προσβάσιμα από το main window του Στούντιο Προσομοίωσης.

Πίνακας Σύνταξης (Assembly Panel)

Ο πίνακας σύνταξης είναι το παράθυρο όπου ο χρήστης δημιουργεί, τροποποιεί και “τρέχει” τις εφαρμογές προσομοίωσης. Στον πίνακα σύνταξης διενεργούνται πολλές χρήσιμες ενέργειες που περιγράφονται παρακάτω.

Μετακίνηση Στοιχείων και Συνδέσεων

Για να τοποθετηθεί ένα μοντέλο-στοιχείο στον Πίνακα Σύνταξης, πρέπει να επιλεγεί ένα στοιχείο από την Εργαλειοθήκη Άμεσης Πρόσβασης, η οποία έχει δενδροειδή μορφή. Εν συνεχεία, κάνοντας κλικ στον Πίνακα Σύνταξης τοποθετείται το στοιχείο που έχει επιλεγεί για την συγκεκριμένη εφαρμογή.

Η σύνδεση των στοιχείων γίνεται με μια σωλήνωση, η οποία συνδέει τις εξόδους και τις εισόδους των στοιχείων. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να μετακινεί τη θέση των συνδέσεων με σκοπό να γίνεται ο Πίνακας Σύνταξης ευκολότερος στην κατανόηση.

Ακόμη, για να μπορεί ο χρήστης να δει τις παραμέτρους, τις εισόδους, τις εξόδους, τις παραγώγους, τις ειδικές κάρτες (special cards) και τα σχόλια που σχετίζονται με το συγκεκριμένο στοιχείο, πρέπει να κάνει δεξί κλικ στο εικονίδιο του μοντέλου και να πατήσει την επιλογή Μεταβλητές (Variables).

Διπλασιασμός ή αντιγραφή στοιχείων

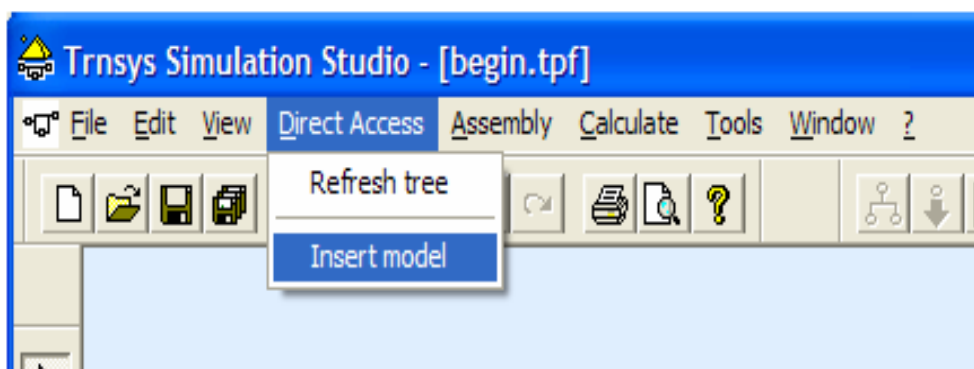
Με την εντολή Edit/Copy δίδεται η δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει ένα ακριβές αντίγραφο του στοιχείου που επέλεξε στον Πίνακα Σύνταξης. Το καινούργιο στοιχείο θα περιέχει όλες τις πληροφορίες που είχε εισάγει ο χρήστης στο πρωτότυπο.

Διαγραφή στοιχείων

Ένα στοιχείο μπορεί να διαγραφεί πολύ απλά πατώντας πάνω στο στοιχείο αριστερό κλικ και μετά το κουμπί DEL.

Χρησιμοποίηση Καταλόγου Άμεσης Πρόσβασης

Επιτρέπει στο χρήστη να ανακτά εύκολα και άμεσα οποιοδήποτε από τα μοντέλα και να τα επανατοποθετεί στον Πίνακα Σύνταξης.



Εικόνα 4.2: Παράθυρο εργαλειοθήκης άμεσης πρόσβασης.

Λήψη πληροφοριών (πρόσβαση στην Proforma)

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω το αρχείο proforma περιέχει τις εισόδους και τις εξόδους, τις μεταβλητές κλπ του μοντέλου και για να έχει πρόσβαση ο χρήστης εκεί υπάρχουν διάφοροι τρόποι. Πρέπει καταρχάς να επιλέξει το στοιχείο και εν συνεχεία κάνοντας δεξί κλικ, να επιλέξει το εικονίδιο 'πληροφορίες' από την εργαλειοθήκη της εφαρμογής.

Αλλαγή κατηγορίας των στοιχείων

Κάθε στοιχείο είναι καταχωρημένο σε layers(κατηγορίες) και στις οποίες εμφανίζονται όλα τα στοιχεία της ίδιας κατηγορίας. Στο TRNSYS υπάρχουν συγκεκριμένες κατηγορίες: Μετεωρολογικά Δεδομένα, Κυκλοφορία Ύδατος, Κεντρικοί Αγωγοί, Κυκλοφορία Αέρα, Έξοδοι, και Κείμενο (weather/data files, water loop, main, air loop, outputs, text). Ο χρήστης μπορεί να μετακινήσει οποιοδήποτε στοιχείο από ένα layer σε ένα άλλο. Επίσης είναι δυνατός οποιοσδήποτε συνδυασμός κατηγοριών (layers) οποιαδήποτε στιγμή.

Δημιουργία Συνδέσεων

Η εντολή Assembly/Link Mode επιτρέπει στο χρήστη τον προσδιορισμό της ροής πληροφοριών από το ένα στοιχείο σε ένα άλλο. Η πληροφορία μεταφέρεται από το ένα στοιχείο στο άλλο. Οι έξοδοι του πρώτου είναι οι εισοδοι για το δεύτερο. Οι έξοδοι παρουσιάζονται σαν μια γραμμή που εξέρχεται από το πρώτο στοιχείο, ενώ οι εισοδοι σαν μια γραμμή που εισέρχονται στο δεύτερο.

Δημιουργία Macro-στοιχείου (Macro Component)

Το macro στοιχείο αντικαθιστά τα επιλεγμένα στοιχεία και τις συνδέσεις τους με ένα στοιχείο το οποίο έχει σαν παραμέτρους, εξόδους, εισόδους, μεταβλητές κλπ., τα αντίστοιχα μεγέθη των επιμέρους επιλεγμένων στοιχείων.

Το macro στοιχείο συμπεριφέρεται όπως και κάθε άλλο στοιχείο του TRNSYS. Μπορεί να μετακινηθεί, να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία κάποιου άλλου macro στοιχείου, να διαγραφεί κλπ. Για τη δημιουργία του macro στοιχείου επιλέγονται αρχικά όλα τα στοιχεία που είναι προς αντικατάσταση, και στην συνέχεια επιλέγεται η εντολή Assembly/Create Macro από το μενού. Το πρόγραμμα αυτόματα αντικαθιστά τα επιλεγμένα στοιχεία με ένα macro-στοιχείο.

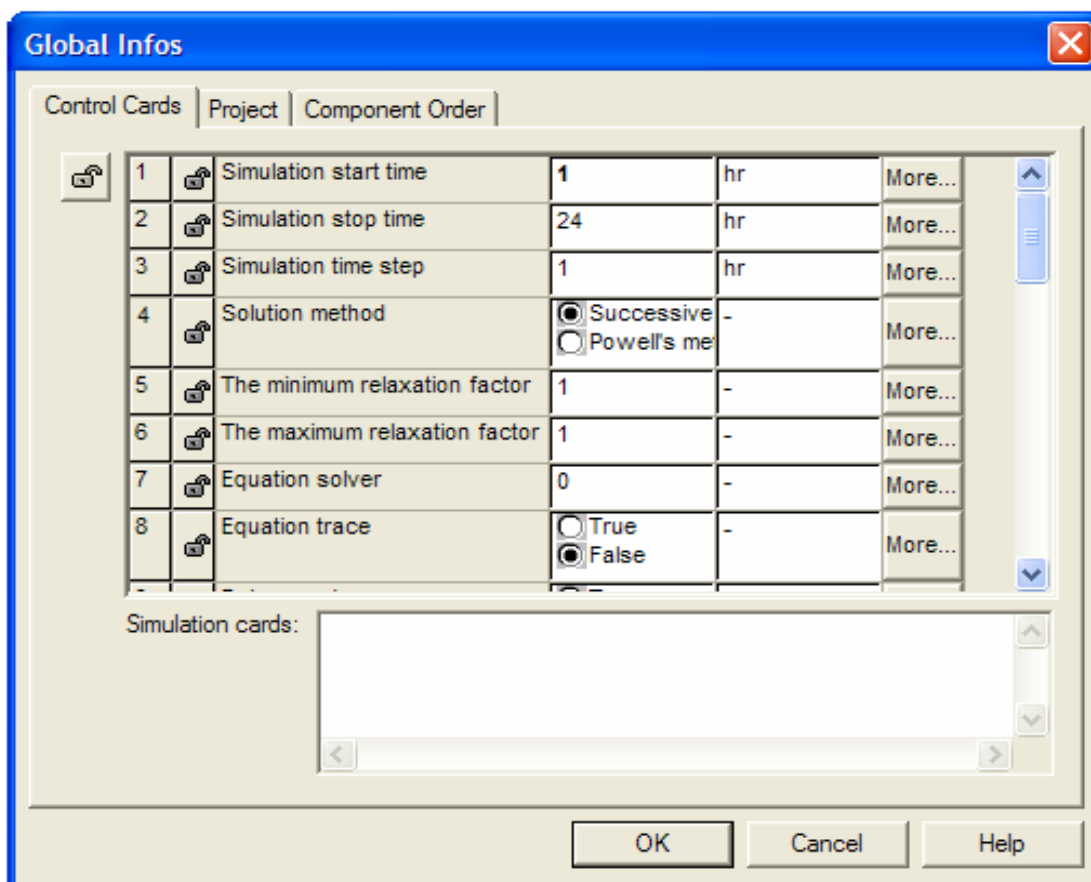
Με την εντολή Assembly/Explode Macro αντικαθίσταται το macro-στοιχείο με τα στοιχεία και τις συνδέσεις που χρησιμοποιούνταν για την δημιουργία του. Επίσης, το macro στοιχείο μπορεί να αποθηκευτεί για πιθανή μελλοντική χρήση .

Κλείδωμα και ξεκλείδωμα στοιχείων (Lock Unlock)

Με την εντολή Assembly/Lock-Unlock μπορεί ο χρήστης να κλειδώσει συγκεκριμένα στοιχεία στον Πίνακα Σύνταξης. Τα κλειδωμένα στοιχεία δεν διαγράφονται ούτε τροποποιούνται.

Πρόσβαση στις Καρτέλες Ελέγχου

Με την εντολή Assembly/Control Cards δίδεται η δυνατότητα στον χρήστη να προσδιορίσει τις καρτέλες ελέγχου που απαιτούνται από το πρόγραμμα TRNSYS. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να κλειδώσει και να ξεκλειδώσει οποιοσδήποτε από τις καρτέλες ελέγχου για μια προσομοίωση πατώντας το κατάλληλο εικονίδιο. Όπως ειπώθηκε και πιο πάνω οι κλειδωμένες κάρτες ελέγχου δεν μπορούν να τροποποιηθούν. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι κάρτες ελέγχου θα καταγράφονται στο αρχείο εισόδου του TRNSYS το οποίο καθορίζεται στο περιθώριο με την ετικέτα "deck file name".



Εικόνα 4.3: Καρτέλες Ελέγχου (Control Cards).

Παραγωγή μόνο του αρχείου εισόδου

Αν ο χρήστης δεν επιθυμεί να ξεκινήσει άμεσα η προσομοίωση μπορεί να δημιουργήσει μόνο το αρχείο εισόδου με την εντολή Calculate/Create Input file. Αυτή η δυνατότητα είναι πολύ χρήσιμη διότι ο χρήστης μπορεί να ελέγξει εάν όλα τα στοιχεία είναι σωστά συνδεδεμένα μεταξύ τους, χωρίς να ξεκινήσει την προσομοίωση.

Ακόμη, να σημειωθεί ότι ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση στο αρχείο εισόδου και ότι οι αλλαγές στο αρχείο εισόδου δεν προσομοιώνονται.

Εκτέλεση προσομοίωσης

Η εντολή Calculate/Run θέτει σε εφαρμογή το πρόγραμμα προσομοίωσης TRNSYS για την συγκεκριμένη μελέτη. Η πιο πάνω εντολή αποθηκεύει τη μελέτη, ελέγχει τυχόν λάθη, δημιουργεί το αρχείο εισόδου και εκτελεί την προσομοίωση με το καινούργιο αρχείο εισόδου.

Μόλις τελειώσει η προσομοίωση ο έλεγχος της προσομοίωσης επιστρέφει στο Studio προσομοίωσης όπου αναλύονται τα αποτελέσματα, δημιουργούνται γραφήματα ή εκτελούνται προσομοιώσεις. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων πρέπει να γίνεται με προσοχή γιατί ούτε το TRNSYS ούτε το Στούντιο Προσομοίωσης διαγράφει αυτόματα τα αρχεία εξόδου και τα διαγράμματα όταν εκτελείται μια νέα προσομοίωση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, εάν μια καινούρια προσομοίωση αποτύχει, οι έξοδοι καθώς και τα διαγράμματα να είναι από την προηγούμενη πετυχημένη προσομοίωση. Ο χρήστης πρέπει πάντα να ελέγχει το αρχείο καταλόγου του TRNSYS (TRNSYS list file) για προειδοποιήσεις ή σφάλματα πριν την ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Πρόσβαση στο αρχείο καταλόγου (*.lst) μέσω Διαχειριστή Σφαλμάτων (Error Manager)

Με την εντολή Calculate/Open/List File επιτρέπεται στους χρήστες να έχουν πρόσβαση στον Διαχειριστή Σφαλμάτων, ο οποίος αναλύει το αρχείο καταλόγων που δημιουργείται από το TRNSYS κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Ο Διαχειριστής Σφαλμάτων περιέχει όλα τα παραγόμενα μηνύματα σφαλμάτων από το TRNSYS και είναι το πρώτο μέρος που πρέπει να κοιτάξει ο χρήστης όταν η προσομοίωση αποτυγχάνει.

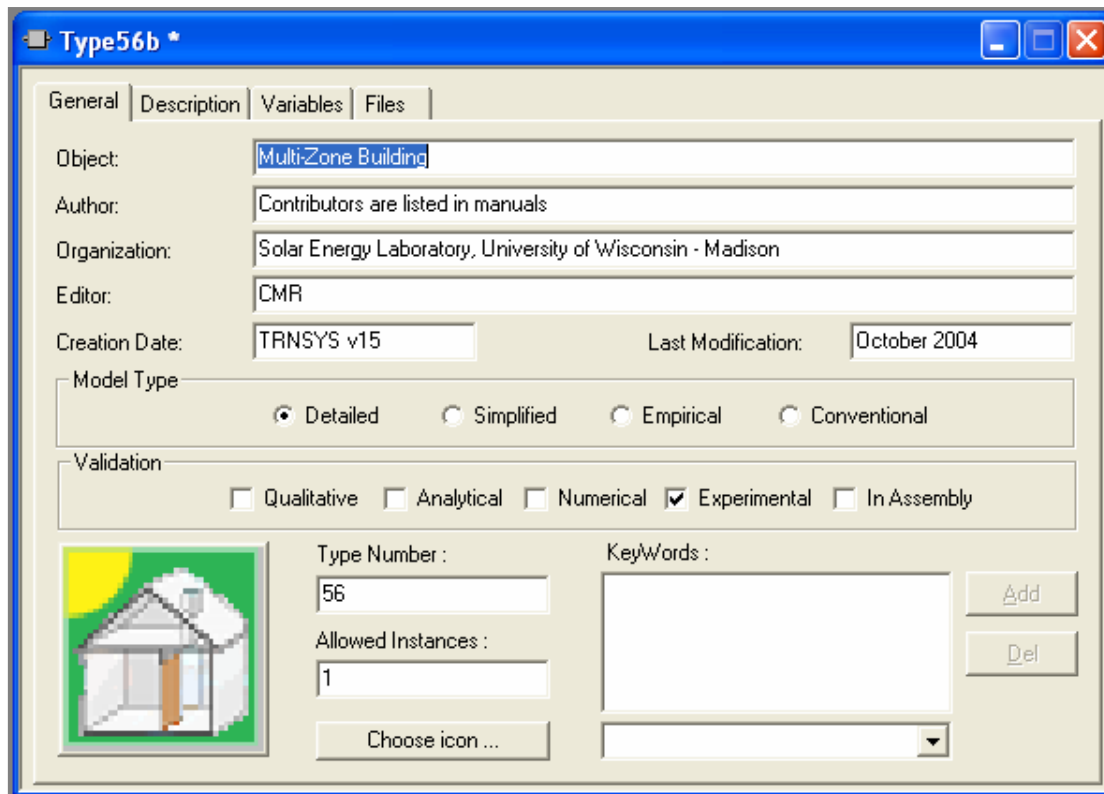
Κατάλογος Άμεσης Πρόσβασης (Direct Access Menu)

Ο κατάλογος άμεσης πρόσβασης περιέχει όλα τα μοντέλα που ο Κατάλογος Άμεσης Πρόσβασης (Direct Access Menu) περιλαμβάνει όλα τα μοντέλα (models) που είναι διαθέσιμα για την εκπόνηση των μελετών-εφαρμογών. Να σημειωθεί ότι οι όροι μοντέλο (model) και στοιχείο (component) εκφράζουν ακριβώς το ίδιο πράγμα και χρησιμοποιούνται εναλλακτικά. Αυτοί οι όροι εκφράζουν ένα κομμάτι εξοπλισμού ή μια ενότητα που περιλαμβάνεται στο TRNSYS. Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, τα μοντέλα που περιέχονται στον Κατάλογο Άμεσης Πρόσβασης χρησιμοποιούνται με την μέθοδο “drag and drop” στην τρέχουσα μελέτη.

Proforma

Το αρχείο Proforma(*.TMF) είναι το πρότυπο τεκμηρίωσης των μοντέλων που χρησιμοποιούνται στο Στούντιο Προσομοίωσης. Πρέπει όλα τα στοιχεία που δημιουργούνται ή προστίθενται να έχουν ολοκληρωμένη Proforma για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις προσομοιώσεις .

Το αρχείο Proforma αποτελείται από τέσσερις καρτέλες : Η πρώτη περιέχει γενικές πληροφορίες για το στοιχείο. Η δεύτερη περιέχει μία σύντομη περιγραφή του στοιχείου. Η Τρίτη περιλαμβάνει αναλυτική περιγραφή κάθε μεταβλητής (παράμετροι, είσοδοι, έξοδοι και παράγωγοι), πράγμα απαραίτητο για τον προσδιορισμό του μοντέλου και της σύνδεσης του με τα άλλα στοιχεία. Τέλος, η τέταρτη καρτέλα περιλαμβάνει συνδέσεις για τη συνεργασία του στοιχείου με τα αρχεία που σχετίζονται με το μοντέλο .

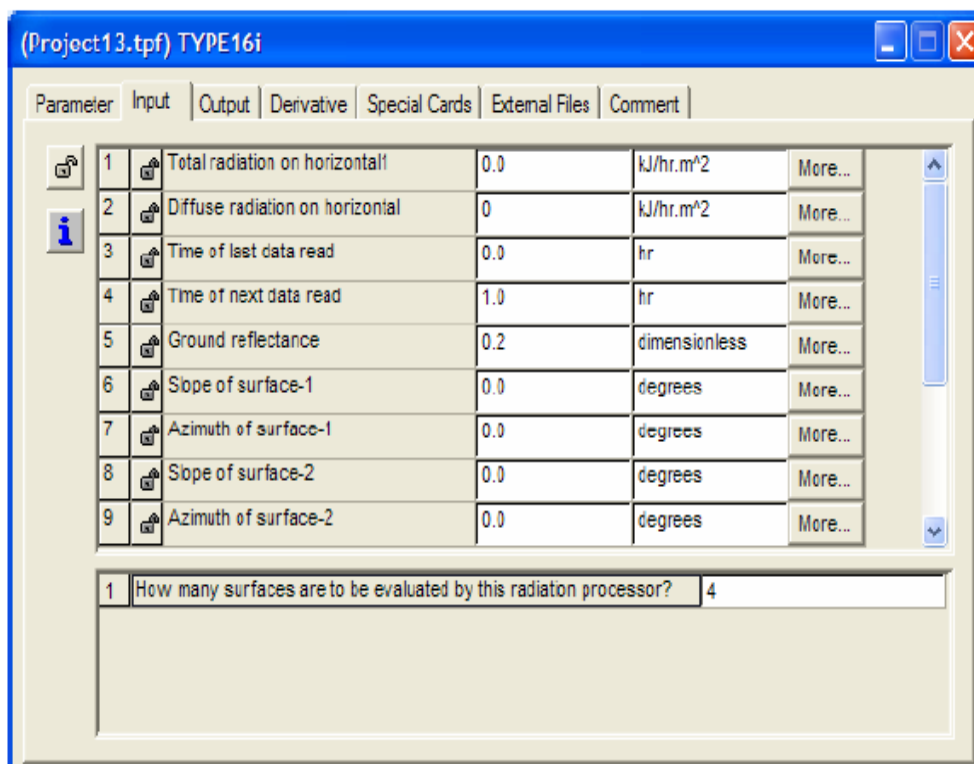


Εικόνα 4.4: Παράθυρο Προφόρμας του TRNSYS Simulation Studio Μεταβλητές (Variables)

Από τα πλέον σημαντικά βήματα για τη δημιουργία της μελέτης στο TRNSYS είναι ο καθορισμός των απαραίτητων μεταβλητών στο μοντέλο-στοιχείο. Η πρόσβαση στο παράθυρο των μεταβλητών γίνεται με διπλό κλικ στο εικονίδιο του μοντέλου. Οι παράμετροι, οι εισόδοι, οι έξοδοι και οι παράγωγοι είναι διαθέσιμες σε ένα παράθυρο με μορφή ετικετών. Από τον μελετητή απαιτείται να προσδιορίσει όλες τις παραμέτρους, τις αρχικές τιμές για όλες τις εισόδους, καθώς και όσες παραγώγους χρειαστεί να παρουσιαστούν στο μοντέλο. Το παράθυρο των εξόδων είναι καθαρά για πληροφοριακούς λόγους. Οποιαδήποτε παράλειψη προσδιορισμού κάποιας από τις παραπάνω πληροφορίες θα έχει σαν αποτέλεσμα η συγκεκριμένη πληροφορία να πάρει την προκαθορισμένη από το πρόγραμμα τιμή.

Οι διάφορες ετικέτες των μεταβλητών περιέχουν κάποια μοναδικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα, όμως όλες μοιάζουν στην εμφάνιση και στον τρόπο λειτουργίας. Κάθε μεταβλητή περιέχει σημαντικές πληροφορίες οργανωμένες σε σειρές δεδομένων. Κάθε σειρά περιέχει:

- Τον αριθμό των εισόδων, των εξόδων και των παραμέτρων.
- Ένα σύμβολο που δείχνει εάν η συγκεκριμένη μεταβλητή είναι κλειδωμένη ή ξεκλειδωτη.
- Την ονομασία της μεταβλητής.
- Ένα περιθώριο με την τρέχουσα τιμή της μεταβλητής.
- Την μονάδα μέτρησης της μεταβλητής.

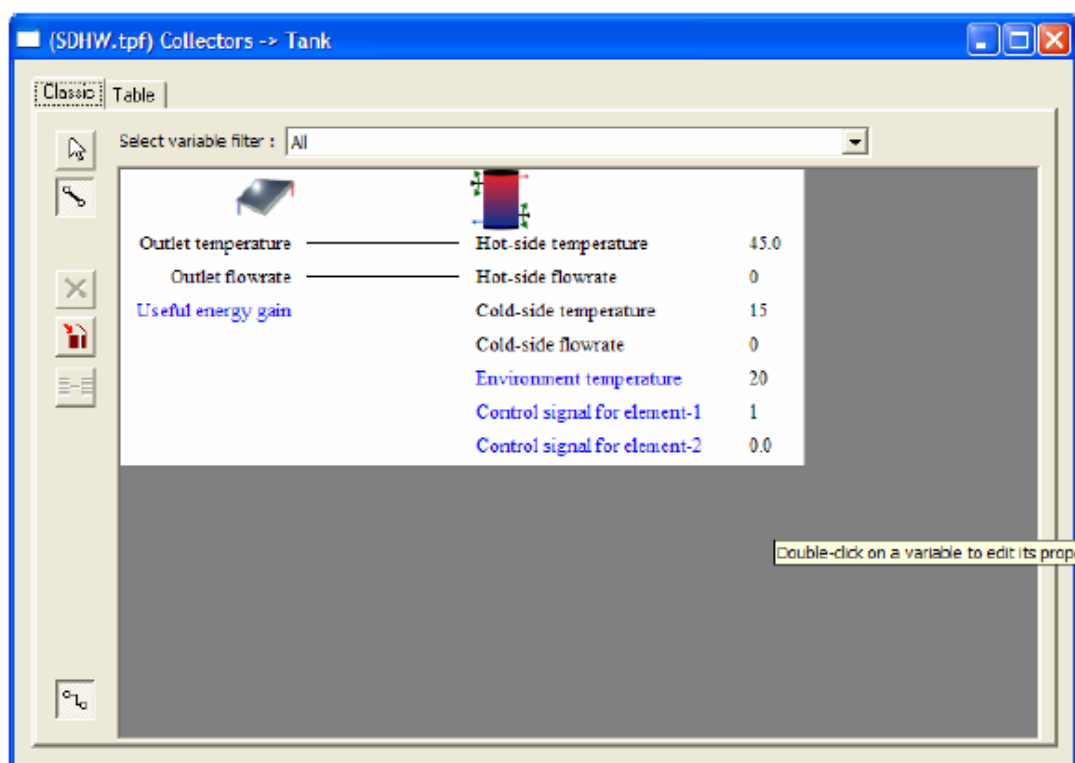


Εικόνα 4.5: Παράθυρο εισόδου των μεταβλητών.

Συνδέσεις (Connections)

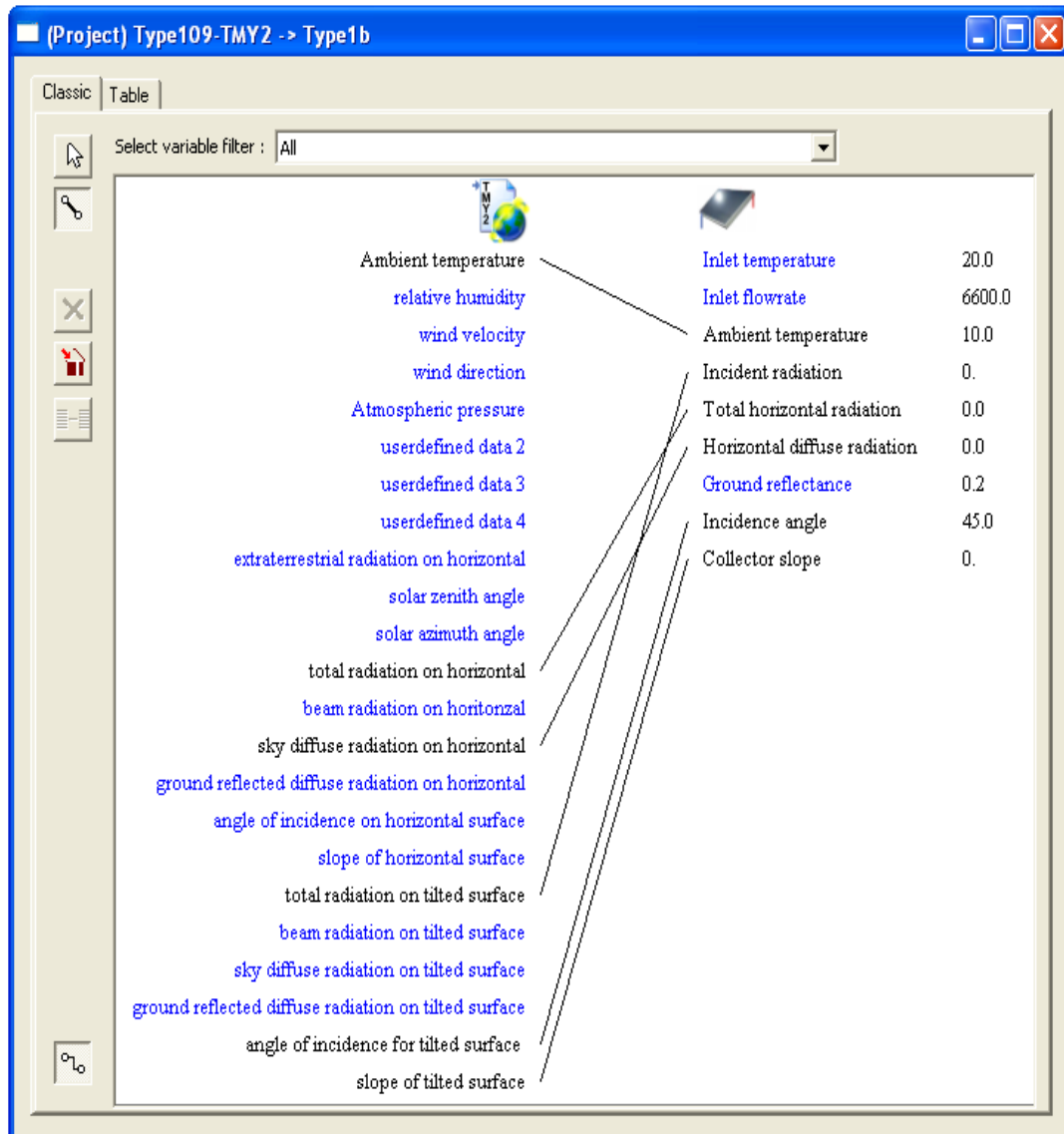
Όταν ολοκληρωθεί ο προσδιορισμός των παραμέτρων είναι πολύ σημαντικό να καθοριστεί ο τρόπος που ρέουν οι πληροφορίες από το ένα στοιχείο στο άλλο. Στο Στούντιο Προσομοίωσης η ροή αυτή παρουσιάζεται σαν ένας σύνδεσμος μεταξύ των δύο στοιχείων. Ο χρήστης πρέπει να προσδιορίσει τις λεπτομέρειες της σύνδεσης μεταξύ των δύο στοιχείων χρησιμοποιώντας το παράθυρο των συνδέσεων (Connections window).

Το παράθυρο των συνδέσεων αποτελείται από 2 καρτέλες (Classic, Table), κάθε μια από τις οποίες περιέχει 2 στήλες με μεταβλητές. Η πρώτη στήλη περιέχει τις εξόδους από το πρώτο στοιχείο ενώ η δεύτερη περιέχει τις εισόδους στο δεύτερο στοιχείο. Εάν κάποια είσοδος ενός στοιχείου μείνει ασύνδετη τότε θα λαμβάνει μια σταθερή τιμή η οποία είναι προκαθορισμένη. Πρέπει να σημειωθεί ότι στο TRNSYS οι εισοδοί μπορούν να συνδεθούν μόνο μια φορά ενώ οι έξοδοι παραπάνω. Δεξιά από την στήλη των εισόδων υπάρχει μια άλλη στήλη η οποία περιέχει τις αρχικές τιμές για κάθε μεταβλητή, οι οποίες μπορούν να προσδιοριστούν από εδώ ή από το παράθυρο των μεταβλητών (Variables window).



Εικόνα 4.6: Παράθυρο Συνδέσεων

Μια σύνδεση δημιουργείται κάνοντας κλικ σε μια ασύνδετη έξοδο (αριστερή στήλη) και στη συνέχεια επιλέγει ο χρήστης με τον ίδιο τρόπο την επιθυμητή είσοδο (δεξιά στήλη) δημιουργώντας μια γραμμή η οποία ενώνει τις μεταβλητές. Το TRNSYS επιτρέπει τη σύνδεση μεταβλητών του ίδιου μεγέθους (π.χ. θερμικό φορτίο με θερμικό φορτίο).



Εικόνα 4.7: Παράθυρο Συνδέσεων Μετεωρολογικών Δεδομένων.

Εξισώσεις (Equations)

Ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο του TRNSYS είναι η δυνατότητα δημιουργίας εξισώσεων μέσα στο αρχείο εισόδου, οι οποίες δεν βρίσκονται μέσα σε κάποιο μοντέλο. Οι εξισώσεις αυτές μπορεί να είναι συναρτήσεις των εξόδων κάποιων στοιχείων, αριθμητικές τιμές, ή εξισώσεις που έχουν προκαθοριστεί. Οι εξισώσεις αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν είσοδοι σε κάποιο μοντέλο, σαν παράμετροι, αρχικές τιμές εισόδων, ή παράγωγοι.

Μηχανή Προσομοίωσης (Simulation Engine)

Ο κώδικας της μηχανής προσομοίωσης (TRNSYS Simulation Engine) είναι προγραμματισμένος σε Fortran. Ο κώδικας αυτός είναι διανεμημένος. Η μηχανή έχει συνταχθεί σε μια Windows Dynamic Link Library (DLL) , την TRNDLL. Το αρχείο εισόδων (*.dck) μεταφέρει τις πληροφορίες στην προσομοίωση (ποια στοιχεία χρησιμοποιούνται και πως συνδέονται) , όπου τις διαβάζει ο πυρήνας του TRNSYS. Ακόμη, ο πυρήνας του TRNSYS ανοίγει πρόσθετα αρχεία εισόδων , όπως τα μετεωρολογικά δεδομένα , και δημιουργεί αρχεία εξόδων.

Η μηχανή προσομοίωσης καλείται από ένα εκτελέσιμο πρόγραμμα, το TRNexe, το οποίο θέτει σε εφαρμογή και τον σχεδιαστή (online plotter), ένα χρήσιμο εργαλείο το οποίο δίνει την δυνατότητα της παρατήρησης πολλών μεταβλητών εξόδου κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

4.3 Γραφικό περιβάλλον εισαγωγής στοιχείων κτιρίου (TRNBuild)

4.3.1 Εισαγωγή

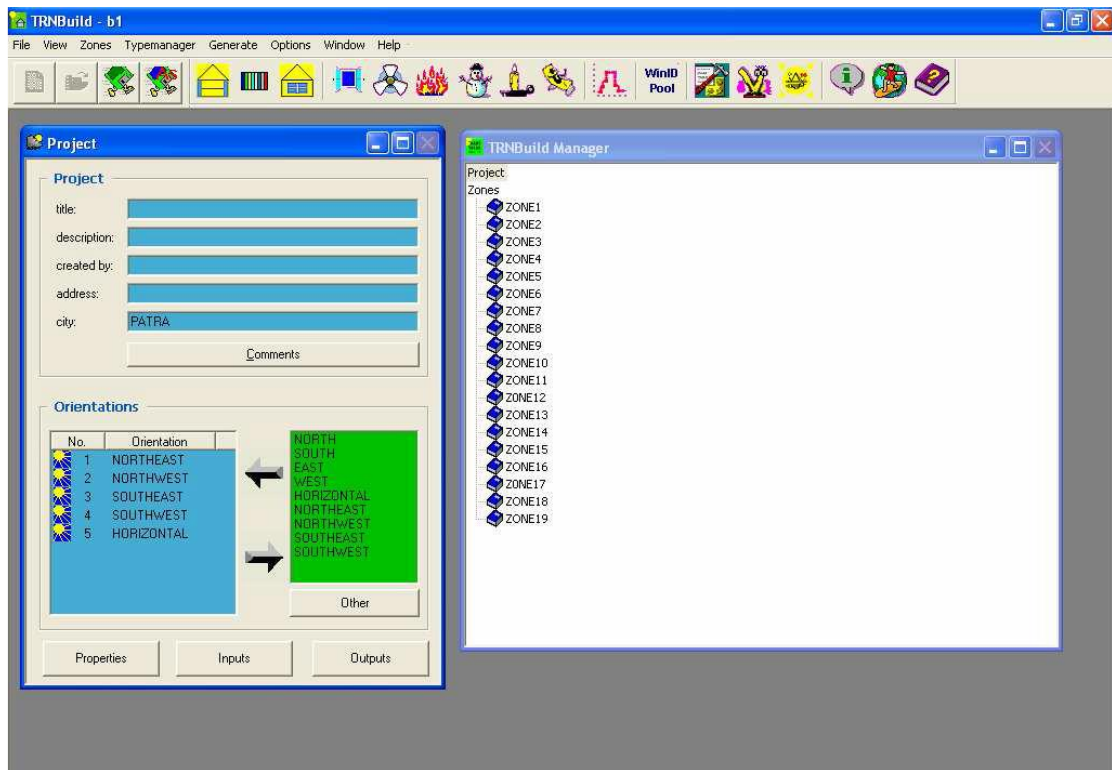
Το TRNBuild είναι το πρόγραμμα εισαγωγής των δεδομένων ενός πολυζωνικού κτιρίου. Επιτρέπει στον χρήστη τον λεπτομερή καθορισμό όλων των κατασκευαστικών στοιχείων του κτιρίου, καθώς και ότι χρειάζεται για τον καθορισμό της θερμικής του συμπεριφοράς, όπως οι οπτικές ιδιότητες των παραθύρων, το πρόγραμμα ψύξης και θέρμανσης που εφαρμόζεται στο κτίριο, οι σκιάσεις κλπ [13].

4.3.2 Επεξεργασία στοιχείων του κτιρίου

Το μοντέλο του πολυζωνικού κτιρίου χρησιμοποιεί πολλές παραμέτρους ώστε να έχει ένα τυπικό αρχείο περιγραφής όπως τα υπόλοιπα μοντέλα του TRNSYS. Έτσι κάθε κτίριο που δημιουργεί ο χρήστης έχει το δικό του ειδικό αρχείο περιγραφής με επέκταση .bui. Ο καθορισμός των στοιχείων του κτηρίου γίνεται κάνοντας δεξί κλικ στο εικονίδιο του κτηρίου και επιλέγοντας edit building. Με τον τρόπο αυτό ξεκινά το πρόγραμμα TRNBuild και ανοίγει το αρχείο περιγραφής του αρχείου.

Παράθυρο Μελέτης (Project Initialization Window)

Το TRNBuild καθορίζει τις γενικές παραμέτρους του κτιρίου από την καρτέλα Project καθώς και τις θερμικές ζώνες.

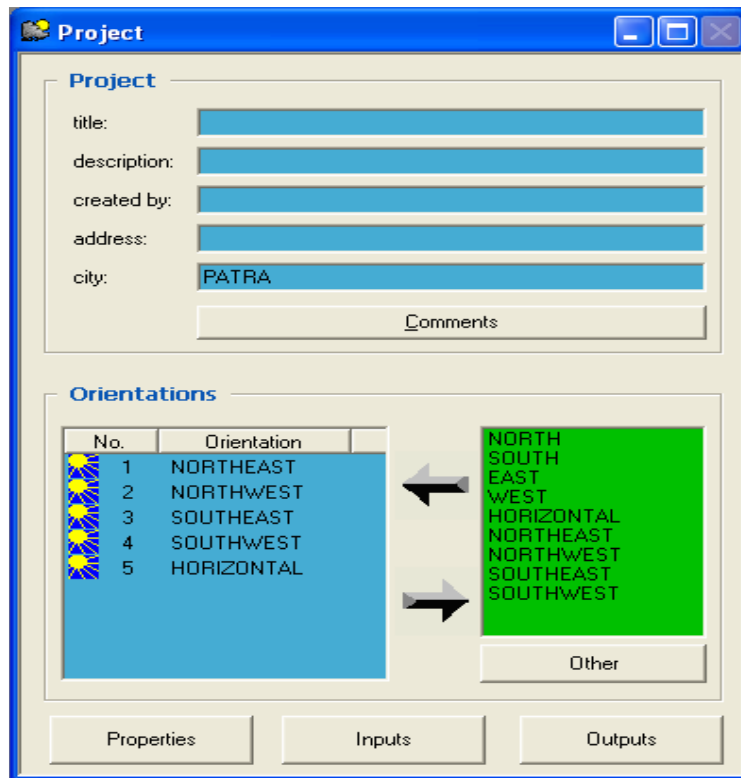


Εικόνα 4.8: Αρχικό Παράθυρο του TRNBuild.

Στην καρτέλα Project ορίζονται:

Προσανατολισμοί (Orientation)

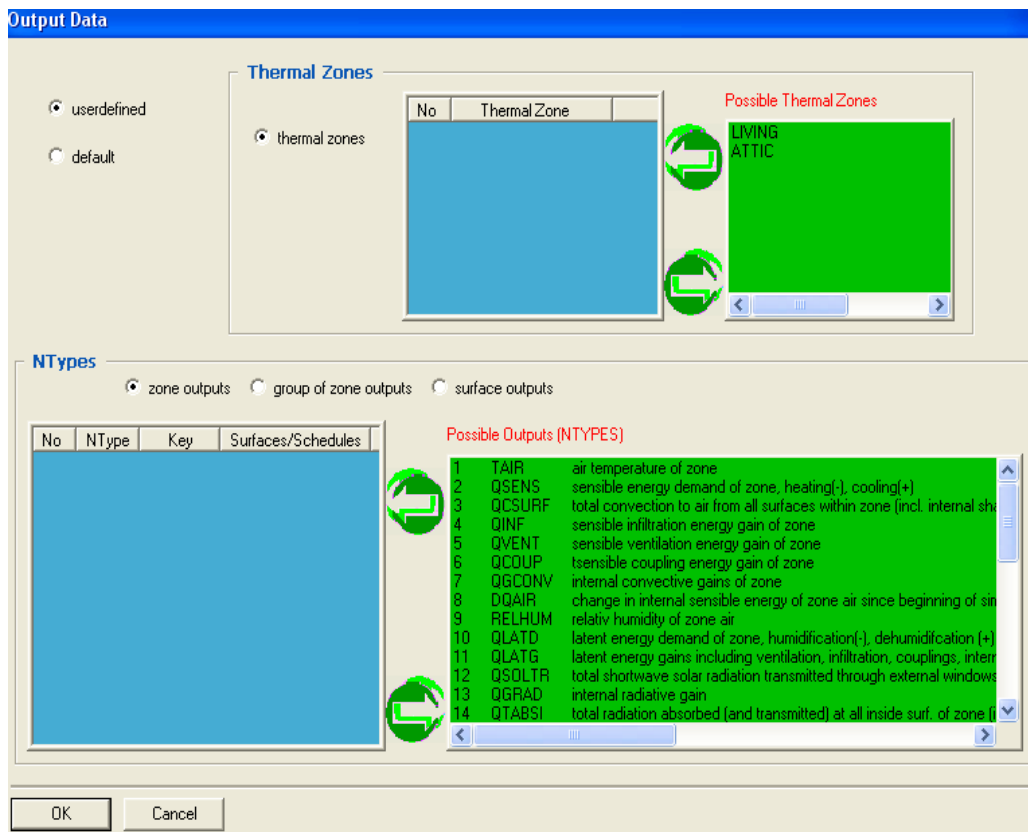
Πρέπει όλοι οι πιθανοί προσανατολισμοί να καθορίζονται με μοναδικά ονόματα. Υπάρχει η δυνατότητα να επιλεγούν συνήθεις προσανατολισμοί που ήδη είναι καθορισμένοι από το πρόγραμμα, οι οποίοι παρουσιάζονται και σε πίνακα στο δεξί μέρος της αντίστοιχης καρτέλας, ή να καθοριστούν νέοι δίνοντας ένα όνομα για τον προσανατολισμό και ορίζοντας νέες εισόδους στο μοντέλο για τον καθορισμό της ακτινοβολίας στον προσανατολισμό αυτό.



Εικόνα 4.9: Παράθυρο Project του TRNBuild.

Είσοδοι-Έξοδοι (Inputs-Outputs)

Οι επιπλέον εισοδοι ορίζονται όταν χρειάζεται ο μελετητής να καθορίσει την τιμή μιας μεταβλητής από άλλο μοντέλο που χρησιμοποιείται στην προσομοίωση. Ο 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.



Εικόνα 4.10: Παράθυρο Εισόδων-Εξόδων.

Ιδιότητες (Properties)

Οι ιδιότητες του κτιρίου 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 $a_{conv}=c*(T_{surf}-T_{air})^e$ και στην καρτέλα αυτή καθορίζονται οι συντελεστές c και e για την καλύτερη προσαρμογή στα διάφορα θεωρητικά μοντέλα.

Properties

density of air :	<input type="text" value="1.204"/>	kg / m ³
specific heat of air:	<input type="text" value="1.012"/>	kJ / kg K
heat of vaporization of water:	<input type="text" value="2454"/>	kJ / kg
Stefan Boltzmann Constant:	<input type="text" value="2.041e-007"/>	kJ / h m ² K ⁴
approx. average surface temp.:	<input type="text" value="293.15"/>	K

Parameters for internal calculation of heat transfer coefficients

constant heated floor, if (T _{surf} floor-T _{air} floor) > 0	<input type="text" value="7.2"/>	kJ / m ² K
exponent heated floor, if (T _{surf} floor-T _{air} floor) > 0	<input type="text" value="0.31"/>	-
constant chilled floor, if (T _{surf} floor-T _{air} floor) < 0	<input type="text" value="3.888"/>	kJ / m ² K
exponent chilled floor, if (T _{surf} floor-T _{air} floor) < 0	<input type="text" value="0.31"/>	-
constant chilled ceiling, if (T _{surf} ceiling-T _{air} ceiling) > 0	<input type="text" value="3.888"/>	kJ / m ² K
exponent chilled ceiling, if (T _{surf} ceiling-T _{air} ceiling) > 0	<input type="text" value="0.31"/>	-
constant heated ceiling, if (T _{surf} ceiling-T _{air} ceiling) < 0	<input type="text" value="7.2"/>	kJ / m ² K
exponent heated ceiling, if (T _{surf} ceiling-T _{air} ceiling) < 0	<input type="text" value="0.31"/>	-
constant vertical surface:	<input type="text" value="5.76"/>	kJ / m ² K
exponent vertical surface	<input type="text" value="0.3"/>	-

OK Cancel

Εικόνα 4.11: Παράθυρο Ιδιοτήτων.

Παράθυρο Επεξεργασίας της Ζώνης (Zone Window)

Το παράθυρο επεξεργασίας Ζωνών περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την περιγραφή μιας θερμικής ζώνης του κτιρίου. Τα δεδομένα που περιγράφουν την κάθε ζώνη χωρίζονται σε 4 κύριες κατηγορίες:

- Βασικά δεδομένα (REGIME DATA)
- Δεδομένα των τοίχων
- Δεδομένα των παραθύρων
- Δεδομένα προαιρετικού εξοπλισμού και προδιαγραφές λειτουργίας, τα οποία περιλαμβάνουν δεδομένα Διείσδυσης, Αερισμού, Ψύξης, Θέρμανσης, Φορτίων και Άνεσης.

Ο χρήστης πρέπει να εισάγει ορισμένα απαραίτητα δεδομένα (είσοδοι) για το κτίριο που πρόκειται να μελετήσει. Αυτά εισάγονται στο τμήμα του παραθύρου ZONE (ονομασία REGIME DATA) και είναι :

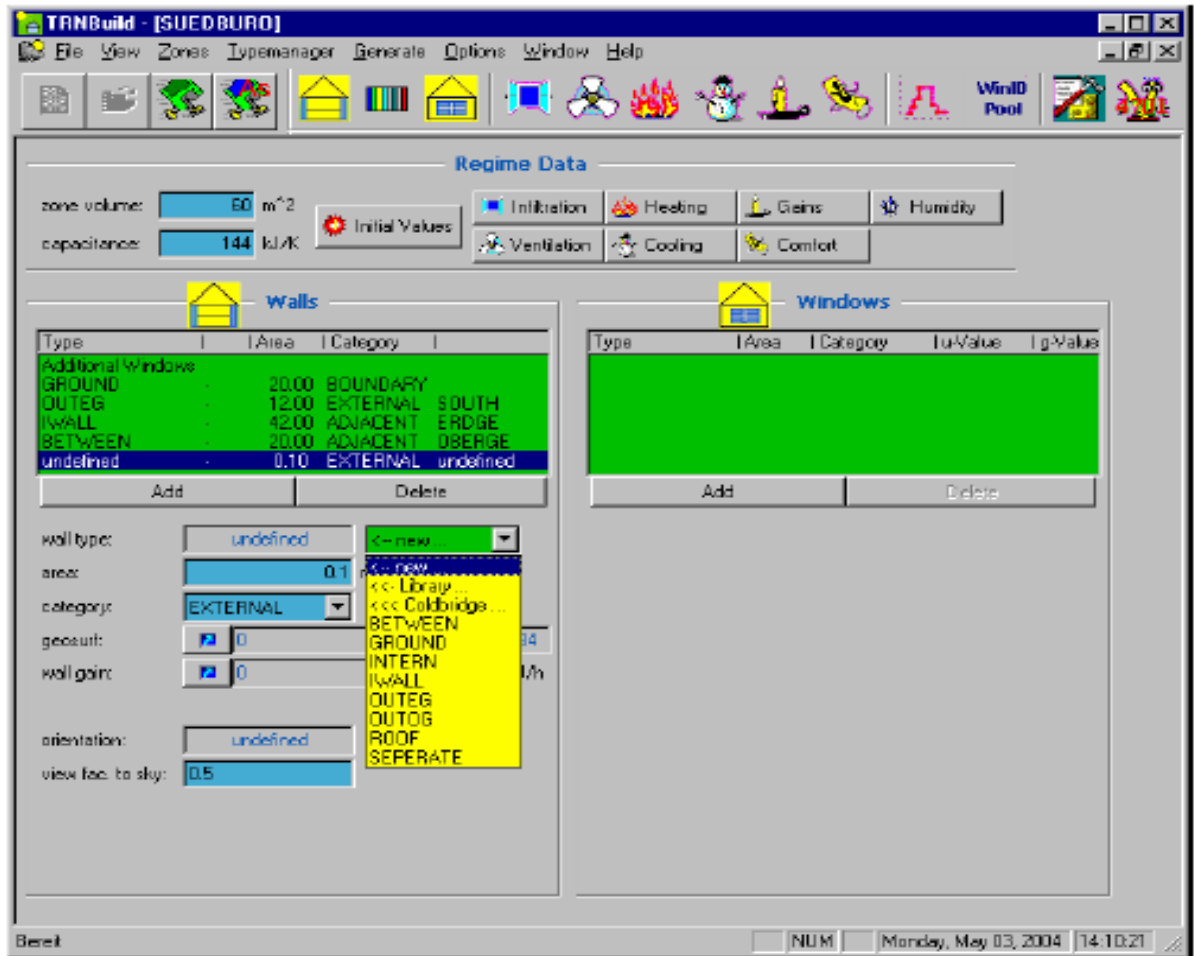
- Όγκος του κτιρίου
- Ολική θερμική αγωγιμότητα του αέρα της ζώνης καθώς
- Αρχική θερμοκρασία του αέρα της ζώνης
- Αρχική σχετική υγρασία της ζώνης
- Μοντέλο υγρασίας (Humidity model)

Τα δεδομένα για τους τοίχους εισάγονται στο αριστερό μέρος του παραθύρου. Εκεί καθορίζονται οι διαστάσεις, η κατηγορία (εξωτερικός, εσωτερικός, παρακείμενος σε άλλη ζώνη ή με οριακές συνθήκες), ο προσανατολισμός των τοίχων και το είδος (τα υλικά) του τοίχου. Εκτός από τα παραπάνω πρέπει ο χρήστης να ορίσει τον συντελεστή θέασης του τοίχου από τον ουρανό, το συντελεστή κατανομής της εισερχόμενης ακτινοβολίας και τυχόν επιπρόσθετα φορτία του τοίχου. Το είδος του τοίχου μπορεί να επιλεγεί από τις βιβλιοθήκες που είναι στο TRNSYS ή να περιγραφεί από τον χρήστη μέσω του διαχειριστή τοίχων στο άνω μέρος του κεντρικού παραθύρου.

Οι βιβλιοθήκες του TRNSYS περιλαμβάνουν:

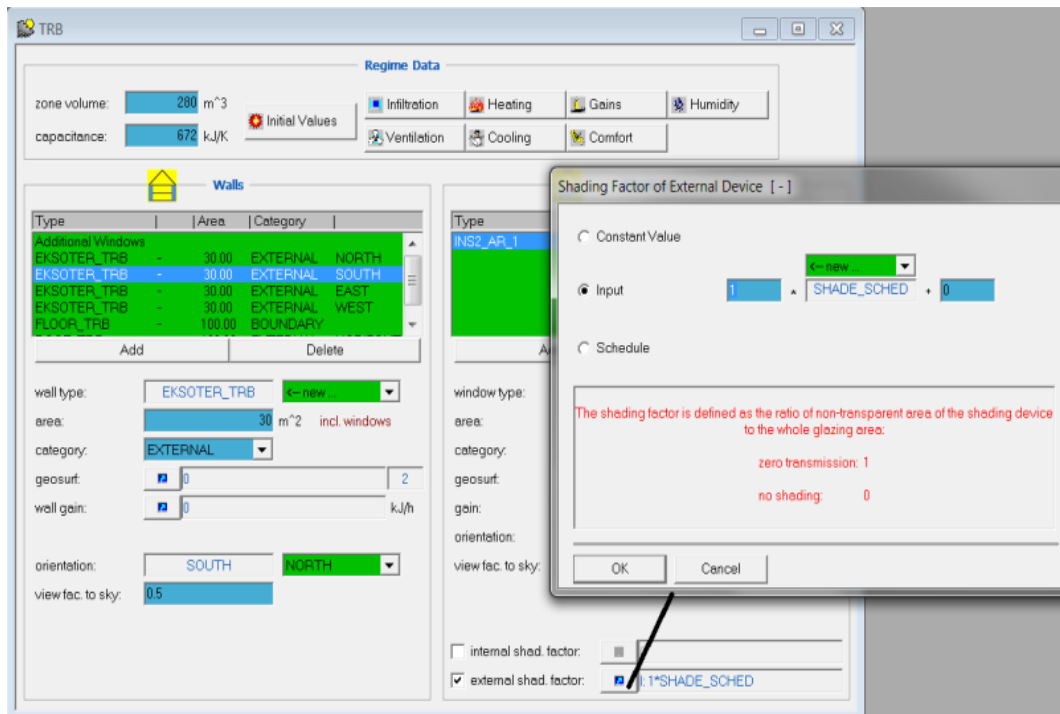
- i) Την βασική βιβλιοθήκη, η οποία περιέχει συνηθισμένους τοίχους και οροφές,
- ii) Την Γερμανική βιβλιοθήκη, με τοίχους κατασκευασμένους σύμφωνα με το Γερμανικό VDI 2078,
- iii) Την Αμερικάνικη βιβλιοθήκη η οποία περιλαμβάνει 144 τοίχους κατασκευασμένους στα πρότυπα της ASHRAE.

Για τον προσδιορισμό ενός καινούριου τοίχου εκτός από την εισαγωγή μοναδικού ονόματος, την ικανότητα του τοίχου για απορρόφηση ηλιακών ακτινών (οι οποίοι δίνονται σε πίνακα), και τον συντελεστή μετάδοσης θερμότητας, ο χρήστης πρέπει να προσδιορίσει την κατασκευή του τοίχου(υλικά). Η κατασκευή του τοίχου προσδιορίζεται από μια σειρά στρωμάτων από μέσα προς τα έξω.



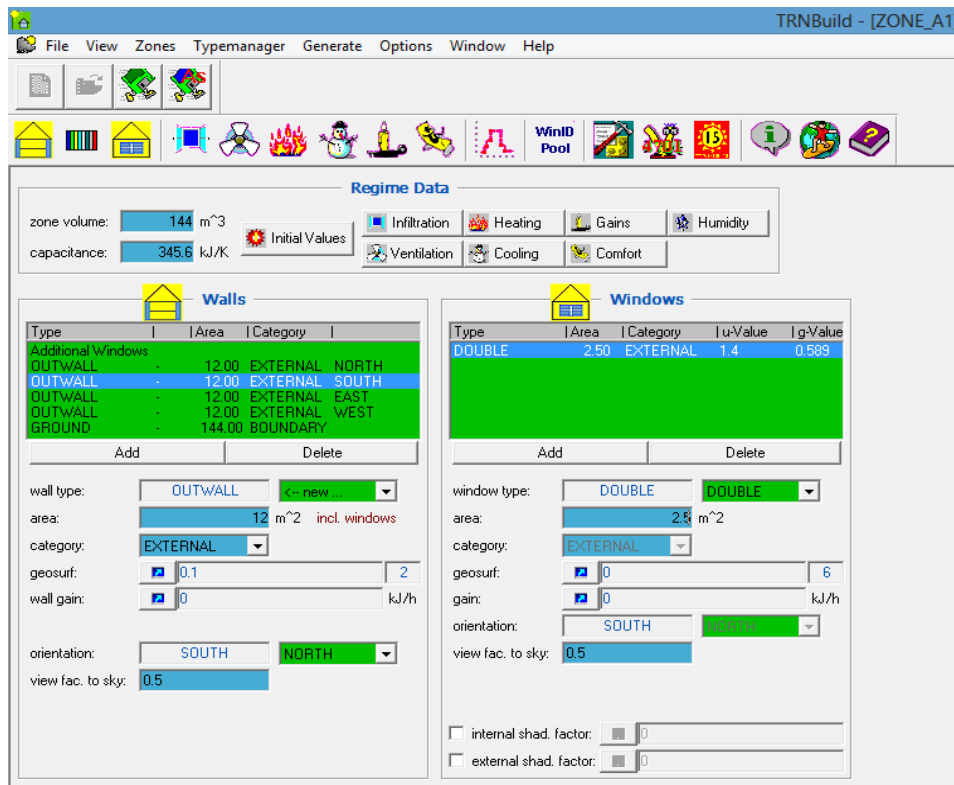
Εικόνα 4.12: Παράθυρο δεδομένων των τοίχων.

Ακόμη, ο χρήστης πρέπει να προσδιορίσει τα δεδομένα των παραθύρων του κτιρίου. Τα παράθυρα μπορεί να βρίσκονται είτε σε εξωτερικούς τοίχους είτε σε εσωτερικούς. Τα δεδομένα εισάγονται στο δεξί μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης, απ' όπου καθορίζονται η θέση, οι διαστάσεις, το είδος των παραθύρων και το μηχανισμό σκίασης (πχ κουρτίνες).



Εικόνα 4.13: Εισαγωγή σκίασης.

Επίσης, καθορίζεται ο συντελεστής θέασης του παραθύρου από τον ουρανό, τυχόν επιπρόσθετα φορτία και τέλος ο προσανατολισμός στην περίπτωση παρακειμένων σε άλλη ζώνη τοίχων ο οποίος μπορεί να είναι ο προσανατολισμός της πρόσθιας ή της οπίσθιας επιφάνειας του τοίχου. Το είδος του παραθύρου επιλέγεται από τις παρεχόμενες βιβλιοθήκες του TRNSYS ή καθορίζεται εκ νέου από τον χρήστη.



Εικόνα 4.14: Παράθυρο Εισαγωγής Παραθύρων.

Οι βιβλιοθήκες που παρέχονται είναι:

- i) 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
- ii) Η Αμερικάνικη, η οποία περιλαμβάνει παράθυρα με προδιαγραφές της ASHRAE.

Η δημιουργία ενός νέου παραθύρου πρέπει να γίνεται με προσοχή από τον χρήστη. Σε αντίθεση με τον προσδιορισμό νέων τοίχων, οι ιδιότητες των παραθύρων που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης δεν μπορούν να προσδιοριστούν πλήρως από το TRNBuid. Για τον πλήρη προσδιορισμό τους είναι απαραίτητο να εκχωρηθεί ένα πρόσθετο αρχείο ASCII (W4-LIB.DAT) το οποίο περιέχει συγκεκριμένες πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την προσομοίωση.

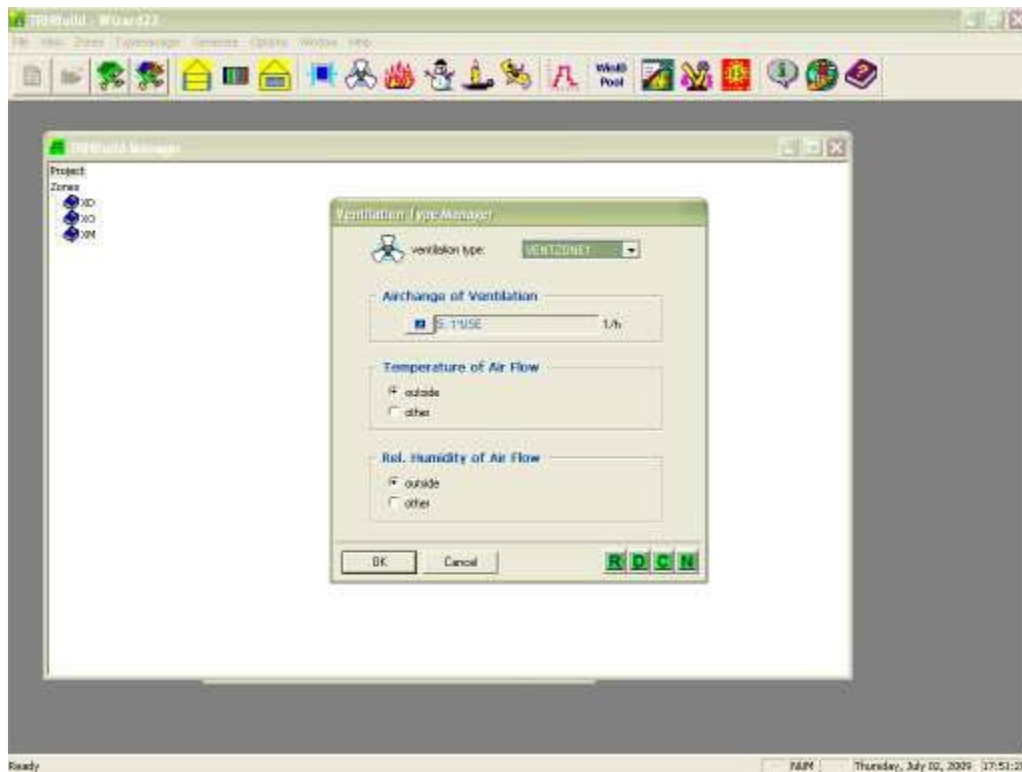
Τα παραπάνω αφορούν τα απαραίτητα δεδομένα του προς μελέτη κτιρίου. Υπάρχουν όμως και πολλές κατηγορίες προαιρετικών αλλά πολύ χρήσιμων δεδομένων. Αυτά τα προαιρετικά δεδομένα είναι:

α) Διείσδυση του αέρα

Η ροή του αέρα από έξω προς τα μέσα στη ζώνη μπορεί να καθοριστεί από την διείσδυση (επιλογή Infiltration). Η επιλογή της διείσδυσης είναι προαιρετική και στην αρχική (default) ρύθμιση είναι ανενεργή. 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 του αέρα, ο οποίος εισέρχεται με τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του περιβάλλοντος.

β) Αερισμός

Με τον αερισμό μπορεί να καθοριστεί η εισροή του αέρα από οποιαδήποτε πηγή (π.χ. από ένα κλιματιστικό). Ο προσδιορισμός της 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 μια καινούρια. Για τον ορισμό μιας μεθόδου αερισμού εισάγεται ο ρυθμός εναλλαγής αέρα, καθώς και η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του εισερχόμενου αέρα.



Εικόνα 4.15: Εισαγωγή αερισμού (Ventilation).

γ) Ψύξη

Δίνεται στο χρήστη η επιλογή εισαγωγής μεθόδου ψύξης της ζώνης. Η μέθοδος ψύξης εισάγεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο "Cooling" στο άνω μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης και αφορά την ιδανική λειτουργία του εξοπλισμού. Υπάρχει μια 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 την 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.

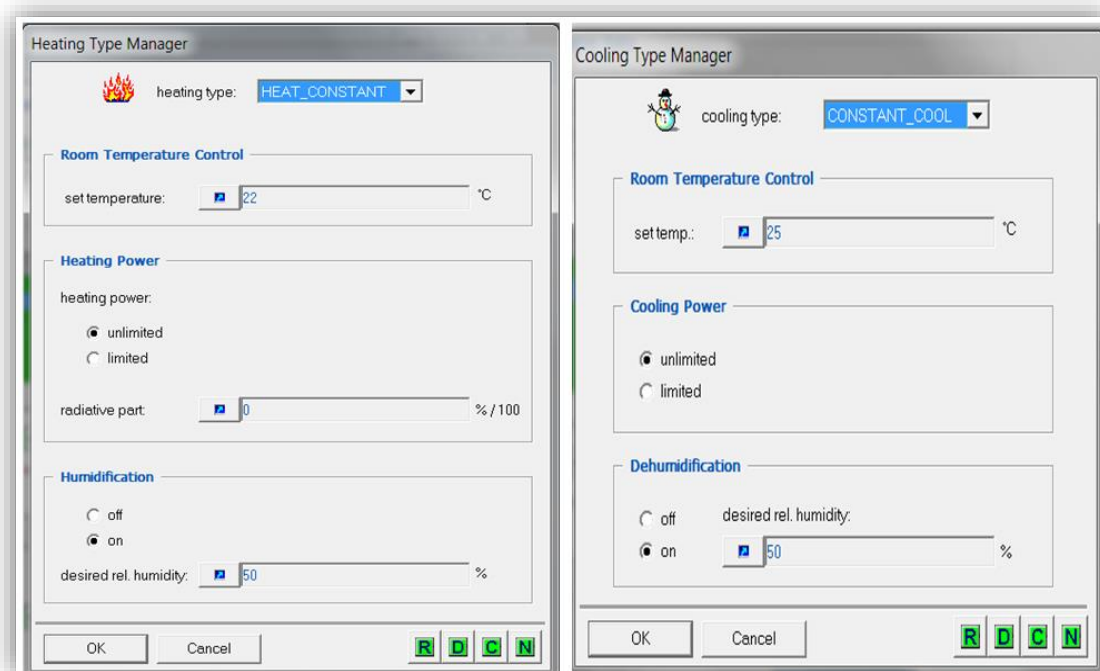
δ) Θέρμανση

Η ενεργειακή απαίτηση μιας ζώνης σε θέρμανση εξαρτάται από την στρατηγική που θα επιλεγεί για τη θέρμανση της ζώνης. Αν ο εξοπλισμός θέρμανσης μοντελοποιείται εξωτερικά του μοντέλου 56 (type 56) τότε δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί η λειτουργία αυτή, αλλά να οριστούν ως εισοδοί στο μοντέλο 56 η θερμοκρασία, η υγρασία και οι εναλλαγές του αέρα που υπολογίζονται από το μοντέλο του εξοπλισμού. Αλλιώς μπορούν να οριστούν ως κέρδη της ζώνης η θερμοκρασία δια συναγωγής και η ακτινοβολία που παρέχεται από τον εξοπλισμό.

Με τη μέθοδο θέρμανσης υπολογίζεται η απαιτούμενη ενέργεια όταν πρόκειται για ιδανική λειτουργία.

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 προϋπάρχουσα μέθοδος είτε δημιουργείται νέα επιλέγοντας “New”. Ο χρήστης,όταν επιλέξει New, εισάγει την επιθυμητή θερμοκρασία του δωματίου κάτω από την οποία λειτουργεί η θέρμανση στη ζώνη, τη μέγιστη ισχύ που μπορεί να παραχθεί για θέρμανση μαζί με το ποσοστό αυτής που δίνεται με ακτινοβολία καθώς και αν επιθυμεί υγραποίηση του αέρα στη ζώνη. Όταν επιλέγεται υγραποίηση του αέρα πρέπει να οριστεί η σχετική υγρασία στη ζώνη.

Επειδή στην πραγματικότητα η θέρμανση δεν λειτουργεί ασταμάτητα πρέπει να ορισθεί ένα πρόγραμμα λειτουργίας. Αυτό το πρόγραμμα ορίζεται έμμεσα θέτοντας χρονοδιάγραμμα της επιθυμητής θερμοκρασίας της ζώνης σε κάθε χρονική στιγμή.



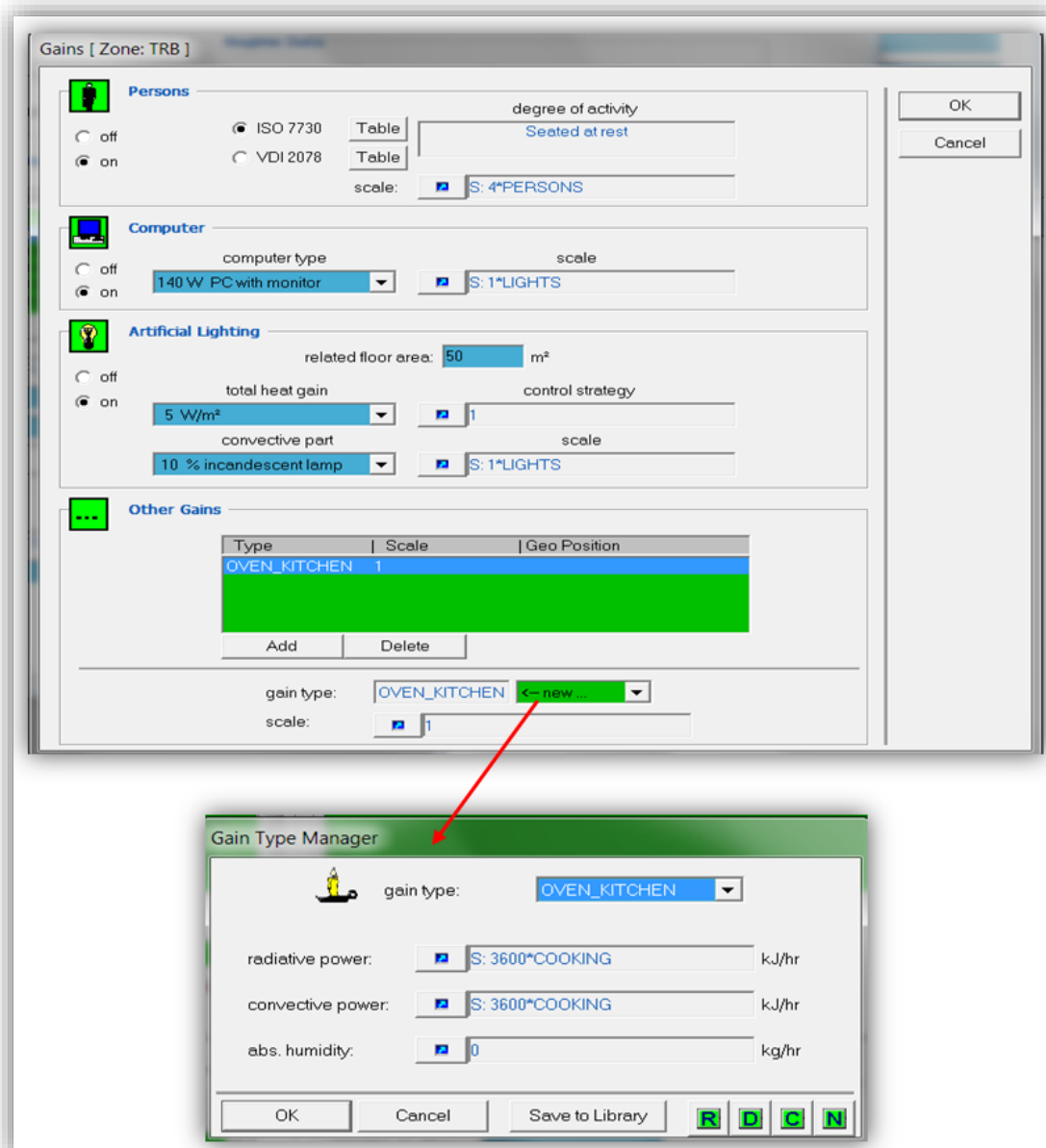
Εικόνα 4.16: Θέρμανση-Κλιματισμός.

ε) Εσωτερικά φορτία

Στα εσωτερικά φορτία περιλαμβάνονται τα φορτία ανθρώπων, υπολογιστών, φωτισμού καθώς και κάθε άλλο φορτίο που ορίζεται από το χρήστη. Ο προσδιορισμός 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, ηλεκτρονικών 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 ή όχι οθόνη. Επίσης, για τον φωτισμό επιλέγεται από λίστα η εγκατεστημένη ισχύς σε Watt/m^2 και το είδος του λαμπτήρα μαζί με το μέρος της ισχύος που μεταδίδεται στον αέρα μέσω συναγωγής.

Η επιλογή “scale” αναφέρεται στον αριθμό των ατόμων ή των ηλεκτρονικών 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 ελέγχου από το αντίστοιχο πεδίο “control strategy”. Τα υπόλοιπα εσωτερικά κέρδη της ζώνης καθορίζονται στο κάτω μέρος του παραθύρου κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Add”. Ο προσδιορισμός ενός κέρδους απαιτεί την εισαγωγή της ισχύος που μεταδίδεται στη ζώνη μέσω συναγωγής, ακτινοβολίας και της απόλυτης υγρασίας που παράγεται.



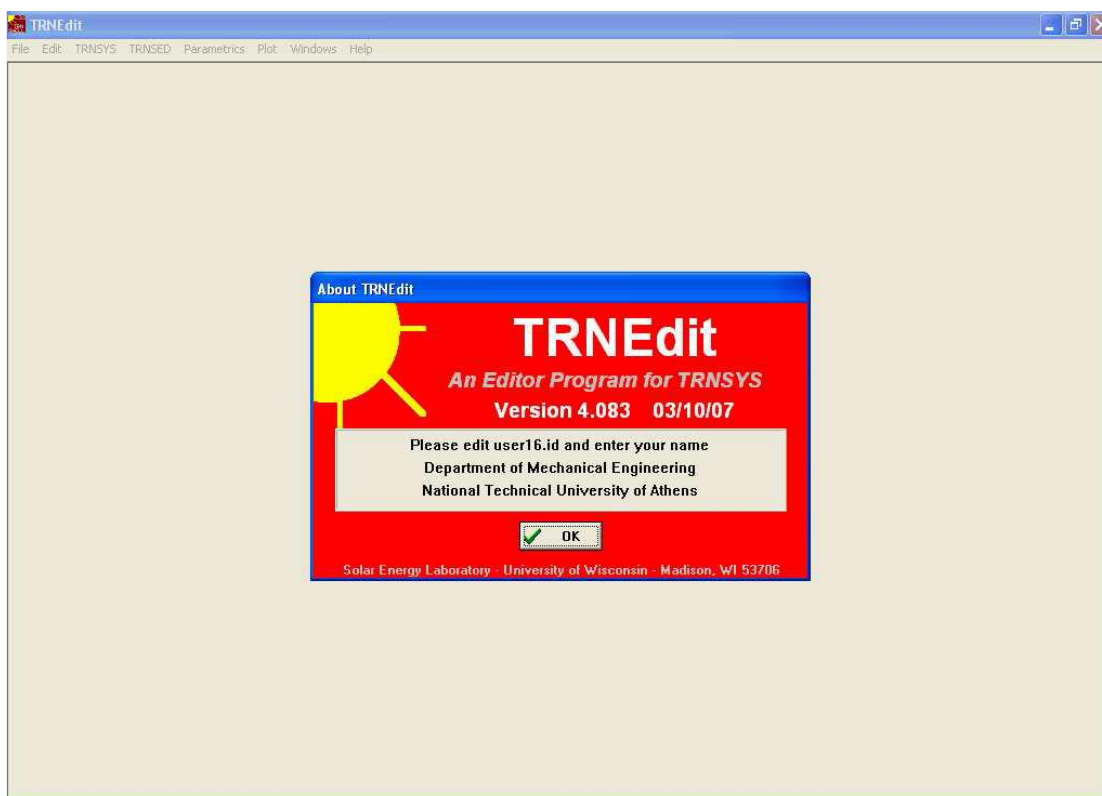
Εικόνα 4.17: Εισαγωγή Φορτίων.

στ) Θερμική άνεση

Η θερμική άνεση 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 στο χώρο, του εξωτερικού έργου, το οποίο είναι συνήθως περίπου μηδέν, και της σχετικής ταχύτητας του αέρα με τα άτομα στο χώρο. Το μοντέλο βασίζεται στις προδιαγραφές ISO. Η θερμική άνεση είναι προαιρετική.

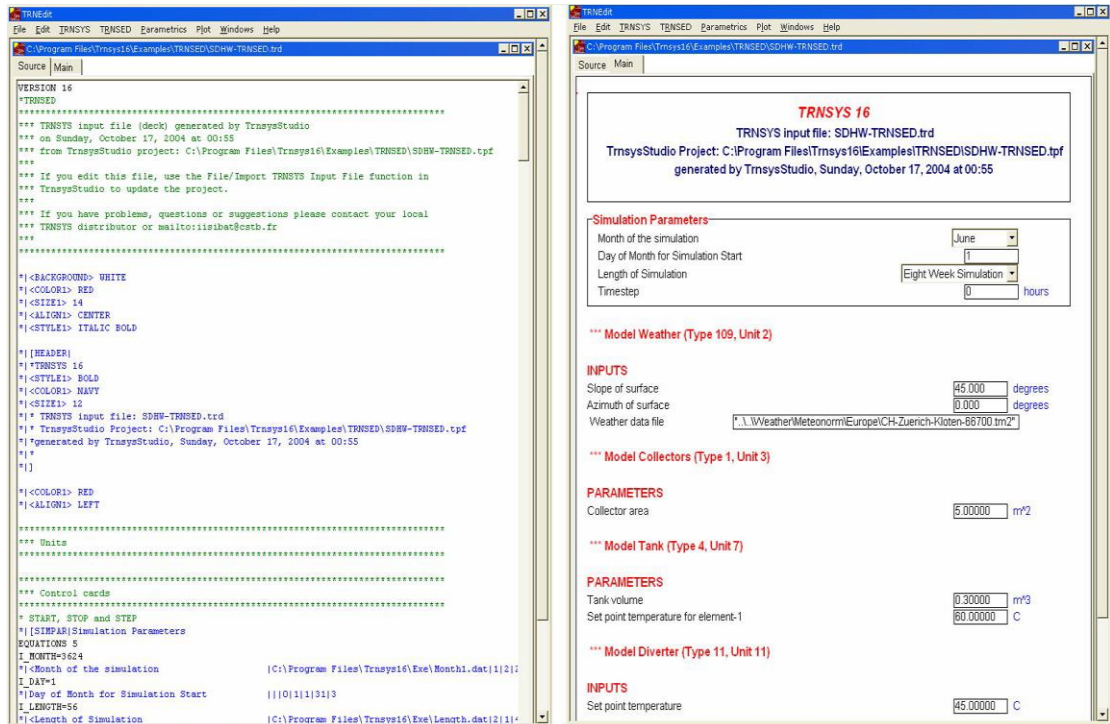
4.4 Εφαρμογές TRNSED και TRNEdit

Το πρόγραμμα TRNEdit είναι ένας εξειδικευμένος επεξεργαστής, 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 του παραχθεί ένα απλοποιημένο εργαλείο προσομοίωσης.



Εικόνα 4.18: Λογισμικό TRNEdit.

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.



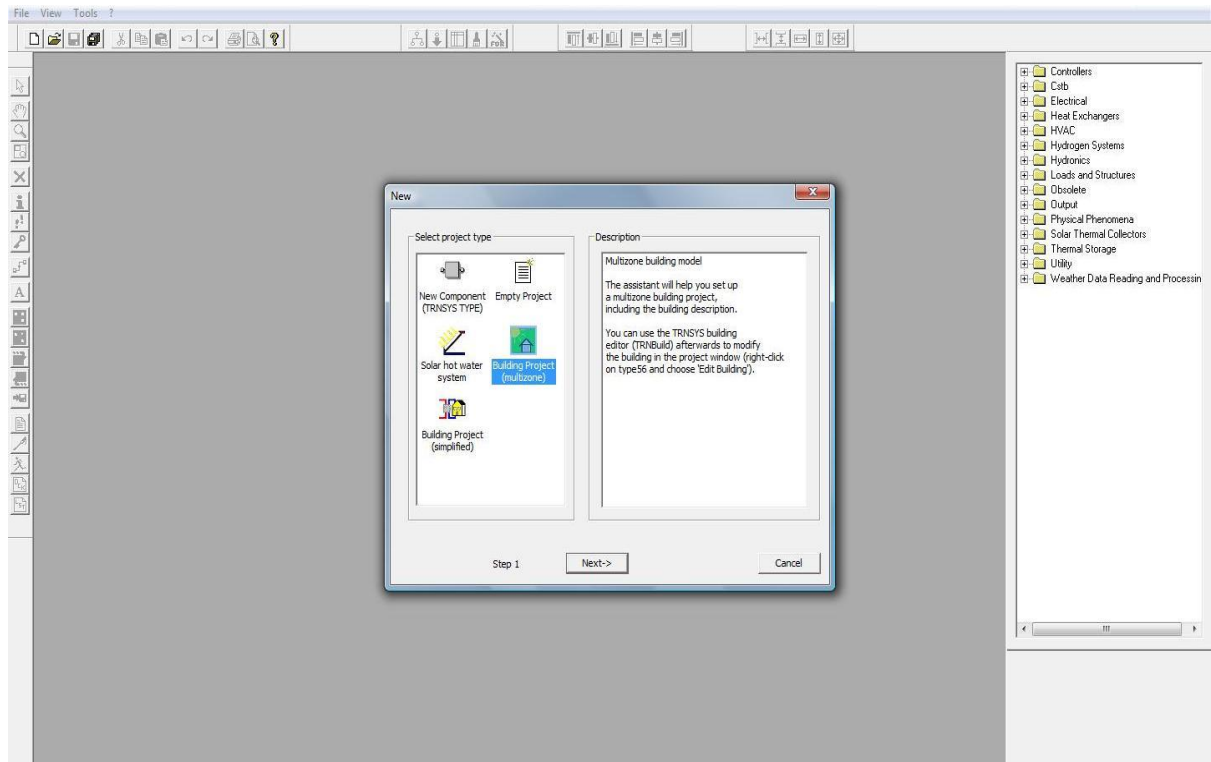
Εικόνα 4.19: Καρτέλα του κώδικα του TRNEdit και η μορφή της Trnsed εφαρμογής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η προσομοίωση του κτιρίου με το λογισμικό **TRNSYS 16** και τα αποτελέσματα αυτής. Πιο συγκεκριμένα, μελετάται η επίδραση της θερμικής μάζας στα ψυκτικά και θερμικά φορτία ενός τυπικού κτιρίου ώστε τελικά να υπολογιστεί το πώς επηρεάζονται αυτά σε σχέση με το κτιριακό κέλυφος [14-19].

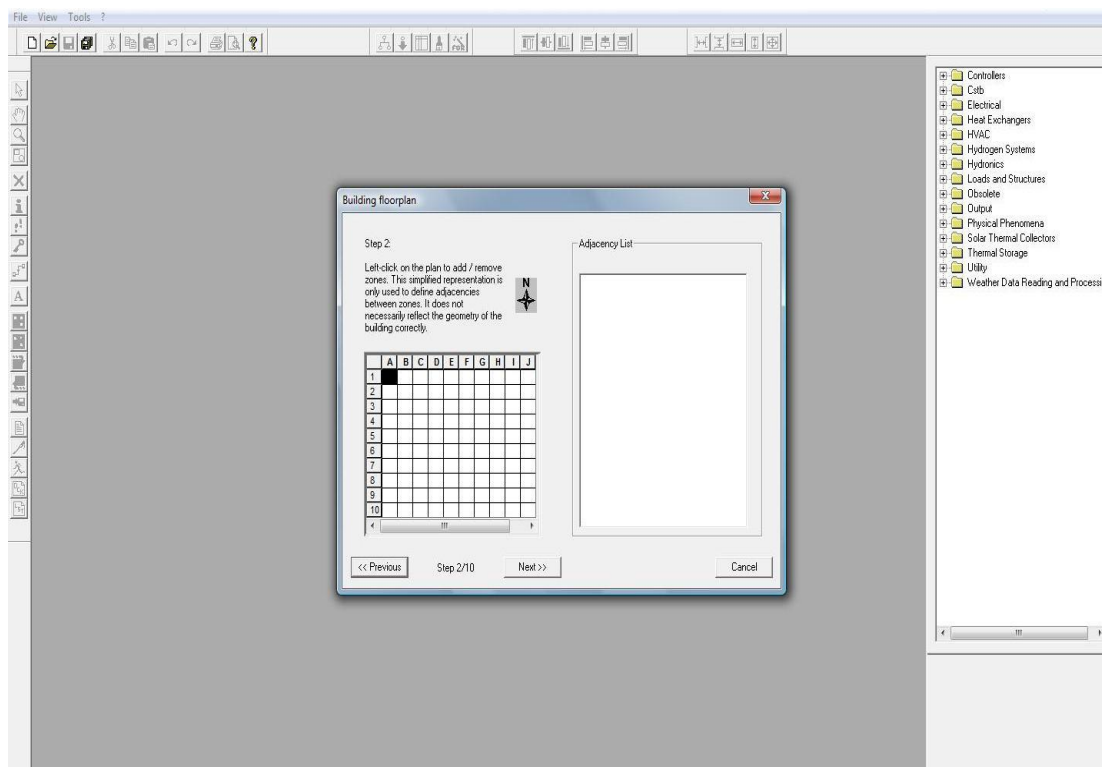
5.1 Τυπικό κτίριο

Σε αυτή τη παράγραφο παρουσιάζεται το κτίριο που μελετάται σε όλη την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε. Πρόκειται για τυπικό κτίριο έτσι ώστε η παραμετροποίηση που πραγματοποιείται και τα συμπεράσματα της να είναι όσο το δυνατόν γενικότερα. Είναι κτίριο τετραγωνικής βάσης, με ύψος (height) 3 μέτρα (m) και πλευρές 10 μέτρων η κάθε μια. Δηλαδή κτίριο 100 τετραγωνικών μέτρων (m²). Επίσης, επιλέχτηκε το τυπικό κτίριο να βρίσκεται στην περιοχή της Αθήνας. Το λογισμικό TRNSYS 16 απαιτεί κάποιες ρυθμίσεις για να ξεκινήσει τις προσομοιώσεις και αυτές παρουσιάζονται αναλυτικά στις παρακάτω εικόνες (5.1 έως 5.11).



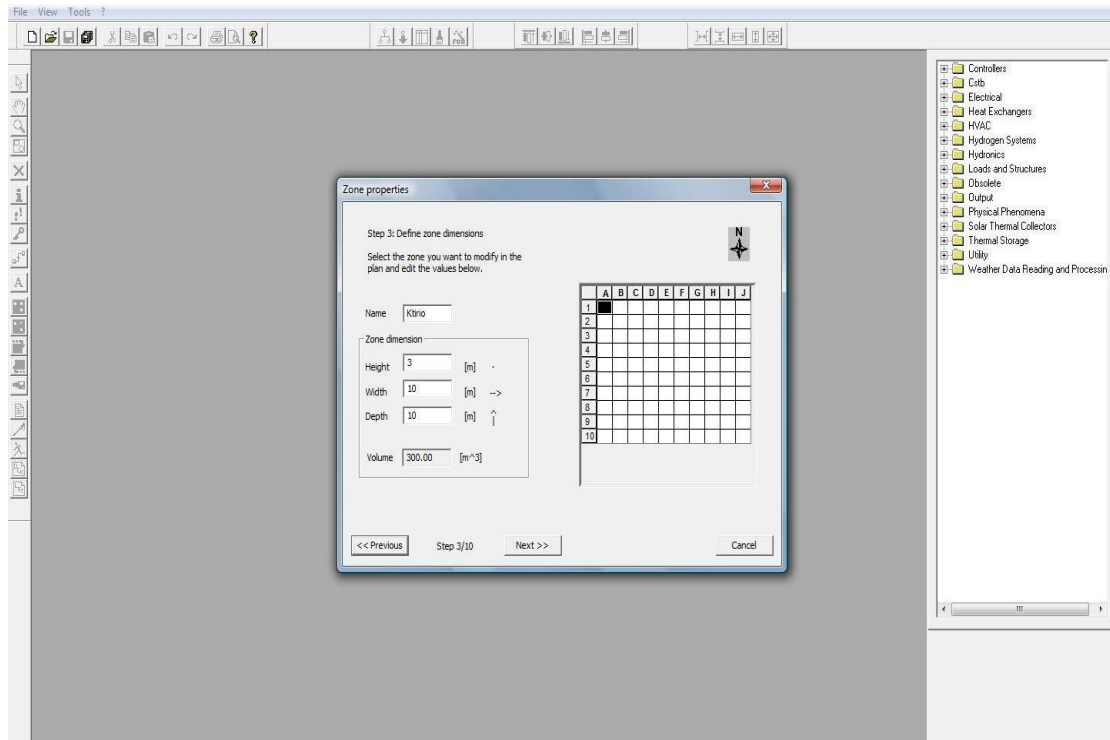
Εικόνα 5.1: Βήμα 1

Στο πρώτο βήμα επιλέγεται το πολυζωνικό κτίριο από το menu του TRNSYS 16. Με αυτό τον τρόπο ο χρήστης δημιουργεί εύκολα το κτίριο που επιθυμεί να προσομοιώσει.



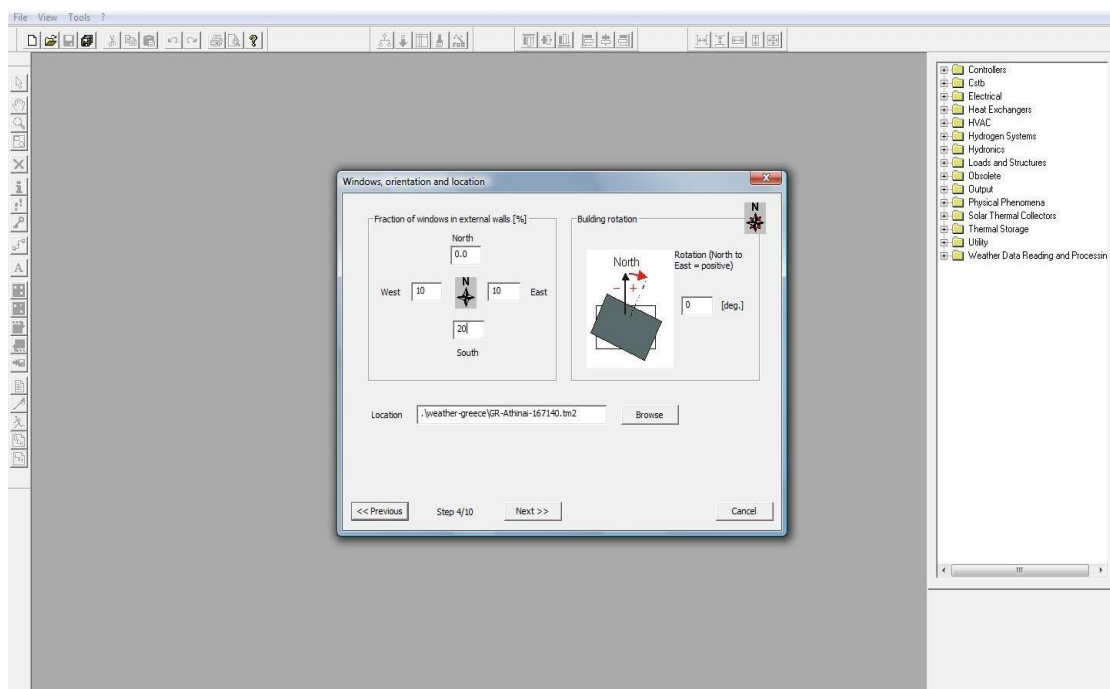
Εικόνα 5.2: Ορισμός ζωνών κτιρίου

Κάνοντας κλικ στα κουτάκια που επιθυμεί, ο χρήστης ορίζει τις ζώνες του κτιρίου του. Αυτό συγκαταλέγεται στα πλεονεκτήματα του λογισμικού, διότι μπορεί να προσομοιωθεί και ένα πολύ σύνθετο κτίριο. Για παράδειγμα, μπορεί να σχεδιασθεί και κτίριο με πολλούς εσωτερικούς τοίχους, πολλές ζώνες κλπ., που ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα.



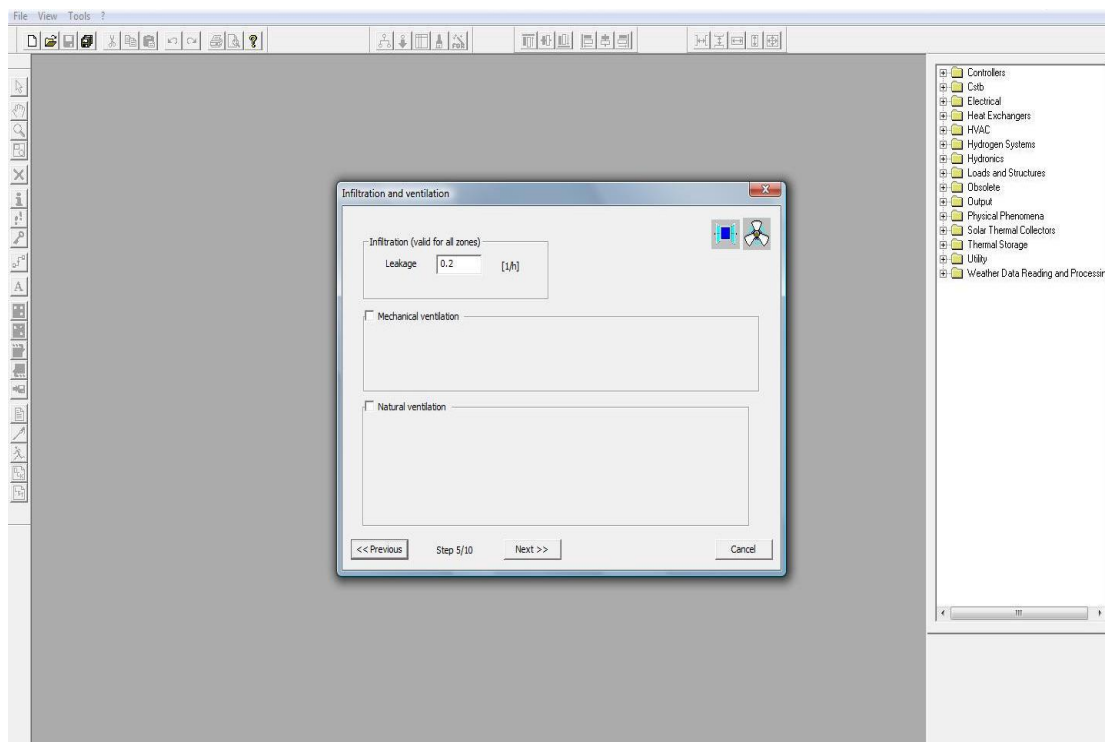
Εικόνα 5.3: Διαστασιολόγηση ζωνών

Αυτό είναι το επόμενο βήμα, όπου ο χρήστης δίνει τις διαστάσεις και το όνομα της κάθε ζώνης του κτιρίου που προσομοιώνει. Για παράδειγμα, name (όνομα)=Ktριο και διαστάσεις: height (ύψος)= 3 m, width (πλάτος)=10 m και depth (βάθος)=10 m. Ο όγκος (volume) προσδιορίζεται αυτόματα από το λογισμικό όταν δοθούν οι παραπάνω βασικές διαστάσεις.



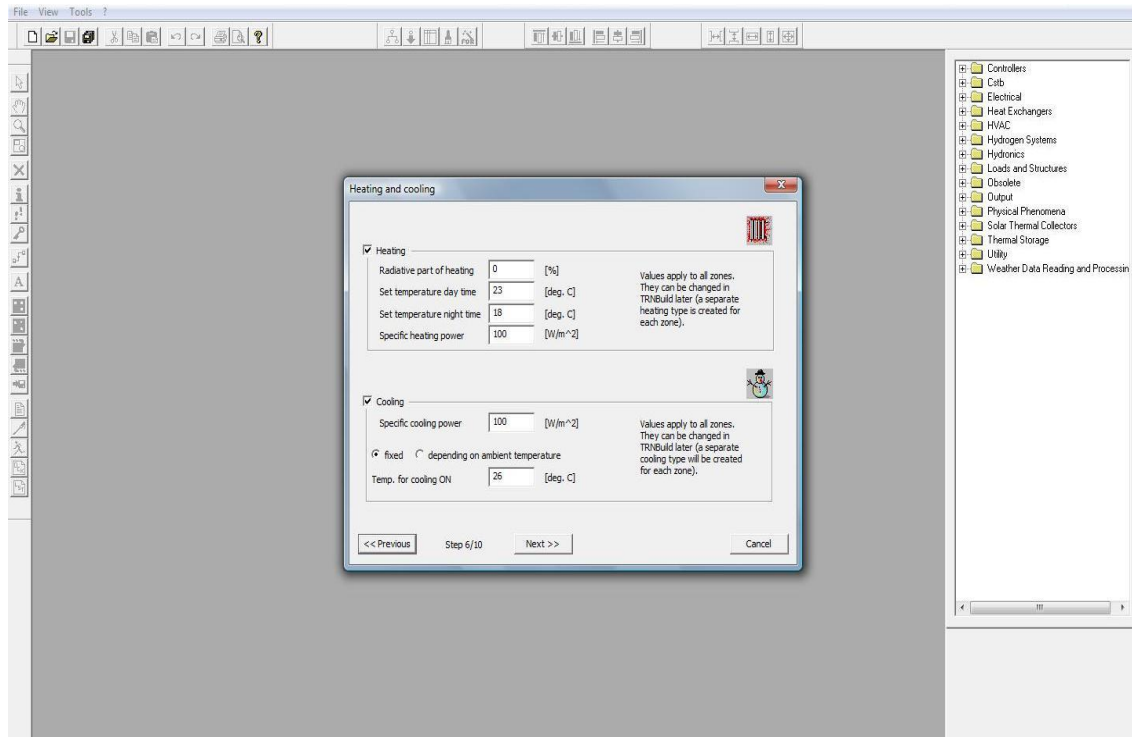
Εικόνα 5.4: Προσανατολισμός, υαλοπίνακες και κλιματικές συνθήκες κτιρίου

Σε αυτό το σημείο ο χρήστης καλείται να επιλέξει το ποσοστό υαλοπινάκων κάθε τοίχου. Όπως φαίνεται στην εικόνα 5.4, στο βόρειο τοίχο συνήθως δεν επιλέγεται να τοποθετηθεί υαλοπίνακας λόγω της χαμηλότερης εκπομπής ηλιακής ακτινοβολίας. Ο χρήστης βάζει στα αντίστοιχα κουτάκια το ποσοστό του ολικού εμβαδού του τοίχου που επιθυμεί να είναι υαλοπίνακας. Ακόμη, σε αυτό το σημείο των αρχικών ρυθμίσεων, ο χρήστης καλείται να επιλέξει τον προσανατολισμό του κτιρίου. Με την επιλογή 0° το κτίριο έχει προσανατολισμό προς το νότο. Επίσης, μπορεί να επιλεγθεί το αρχείο που δίνει τα κλιματολογικά δεδομένα για την προσομοίωση που θα ακολουθήσει. Τέτοια αρχεία είναι απαραίτητα στοιχεία των προσομοιώσεων TRNSYS και εμπεριέχουν κλιματικά δεδομένα για πόλεις όλου του κόσμου.



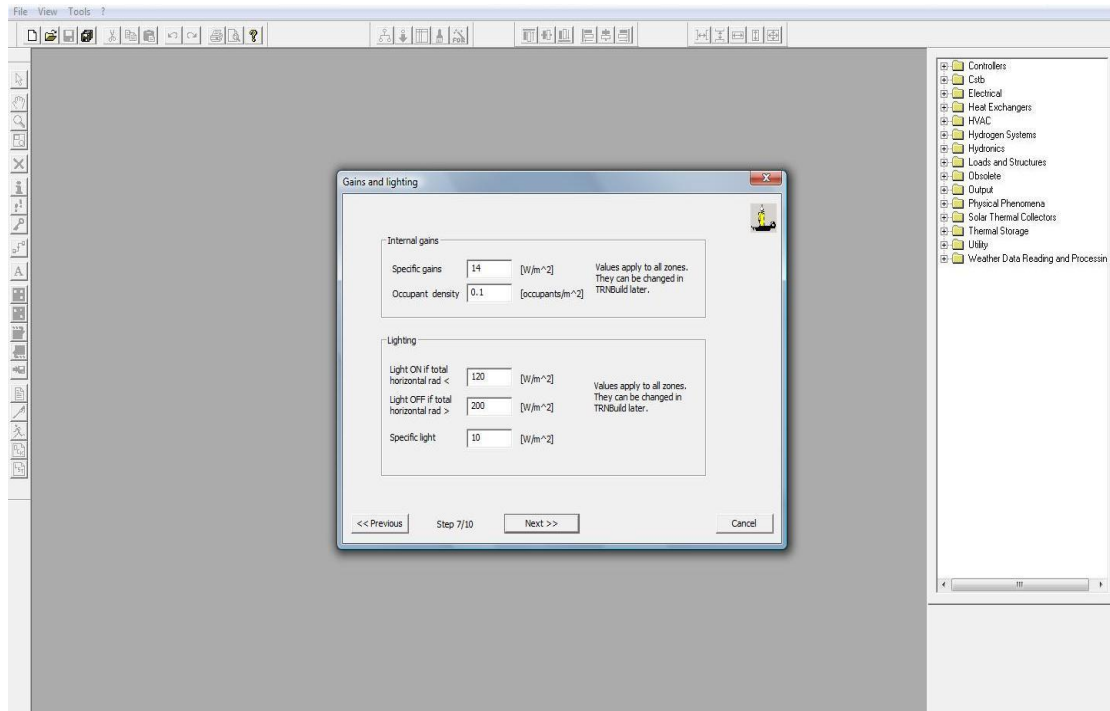
Εικόνα 5.5: Μηχανικός και φυσικός αερισμός

Αυτή η καρτέλα δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει τις συνθήκες εξαερισμού του χώρου που προσομοιώνει. Προσδιορίζονται αρχικά οι εναλλαγές αέρα του χώρου. Στην περίπτωση μας επιλέχθηκε η default διείσδυση του αέρα, δηλαδή 0.2 εναλλαγές ανά ώρα. Ακόμη επιλέγεται ο εξαερισμός του χώρου. Δίνονται οι επιλογές μηχανικού (ανεμιστήρες κλπ.) και φυσικού εξαερισμού (παράθυρα). Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει και τους 2 τρόπους ταυτόχρονα. Στην περίπτωση μας επιλέχθηκε μόνο διείσδυση αέρα.



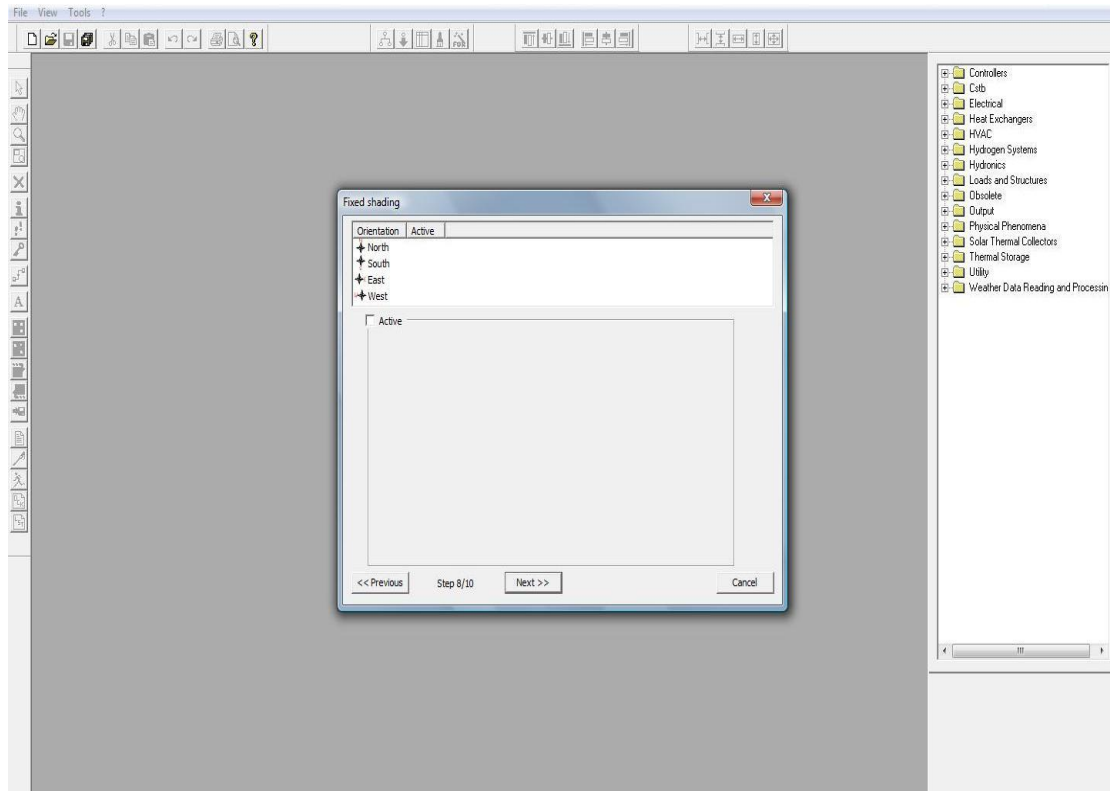
Εικόνα 5.6: Heating and Cooling

Η εικόνα 5.6 δείχνει πως ρυθμίζονται τα θερμικά και ψυκτικά φορτία για το κτίριο προσομοίωσης. Το λογισμικό TRNSYS έχει κάποιες σταθερές επιλογές για το heating και το cooling, αλλά υπάρχει και η δυνατότητα ο χρήστης να επιλέξει να μην έχει το κτίριο του θερμικά ή ψυκτικά φορτία. Επίσης, ο χρήστης μπορεί να ορίσει από ποια τιμή θερμοκρασίας θα αρχίζουν να λειτουργούν οι συσκευές θέρμανσης και ψύξης. Στην περίπτωση μας επιλέχθηκε το cooling να λειτουργεί όταν η θερμοκρασία υπερβαίνει τους 26 °C, ενώ το heating όταν η θερμοκρασία πέφτει κάτω από τους 18 °C τις νυχτερινές ώρες και 23 °C τις ώρες της ημέρας.



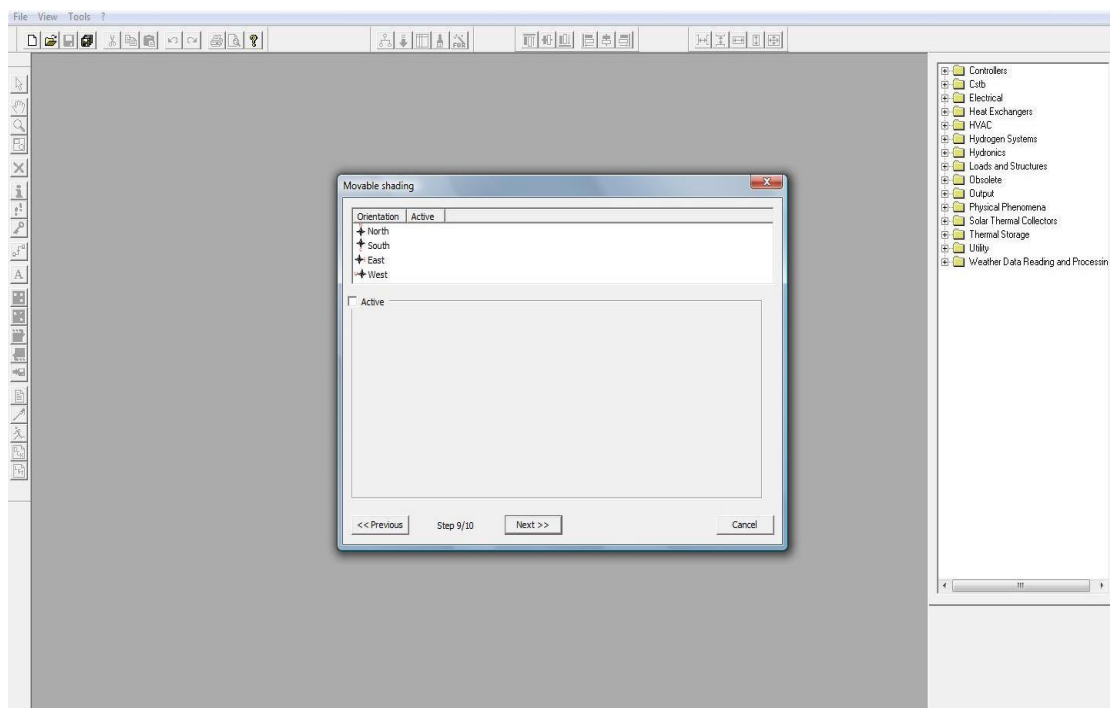
Εικόνα 5.7: Κέρδη

Σε αυτό το βήμα προσδιορίζονται τα θερμικά κέρδη από ανθρώπους, συσκευές και φωτισμό. Επίσης, γίνεται ρύθμιση του φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας ανάλογα με την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Στην περίπτωση μας επιλέχθηκαν οι προεπιλεγμένες τιμές του λογισμικού.



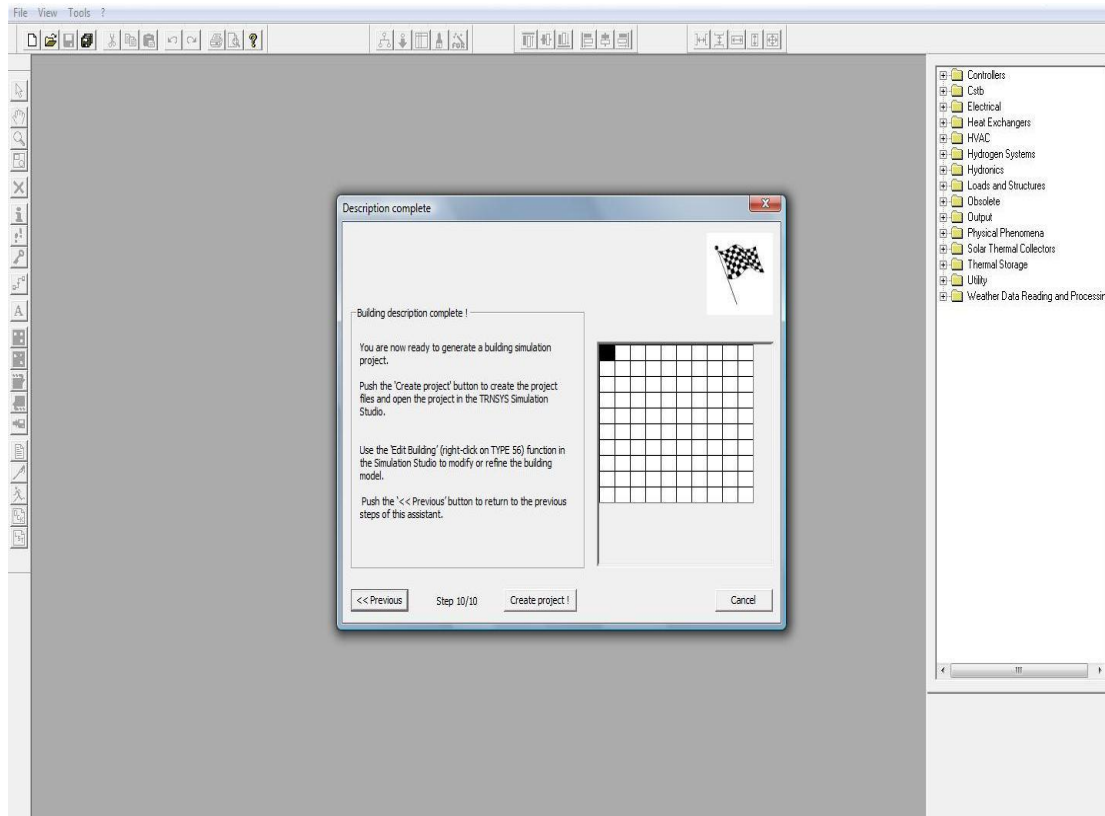
Εικόνα 5.8: Σταθερή σκίαση

Με αυτό το βήμα ο χρήστης καθορίζει τη σταθερή σκίαση γύρω από τα παράθυρα του κτιρίου που προσομοιώνει. Στην περίπτωση μας δεν χρησιμοποιήθηκε σκίαση.



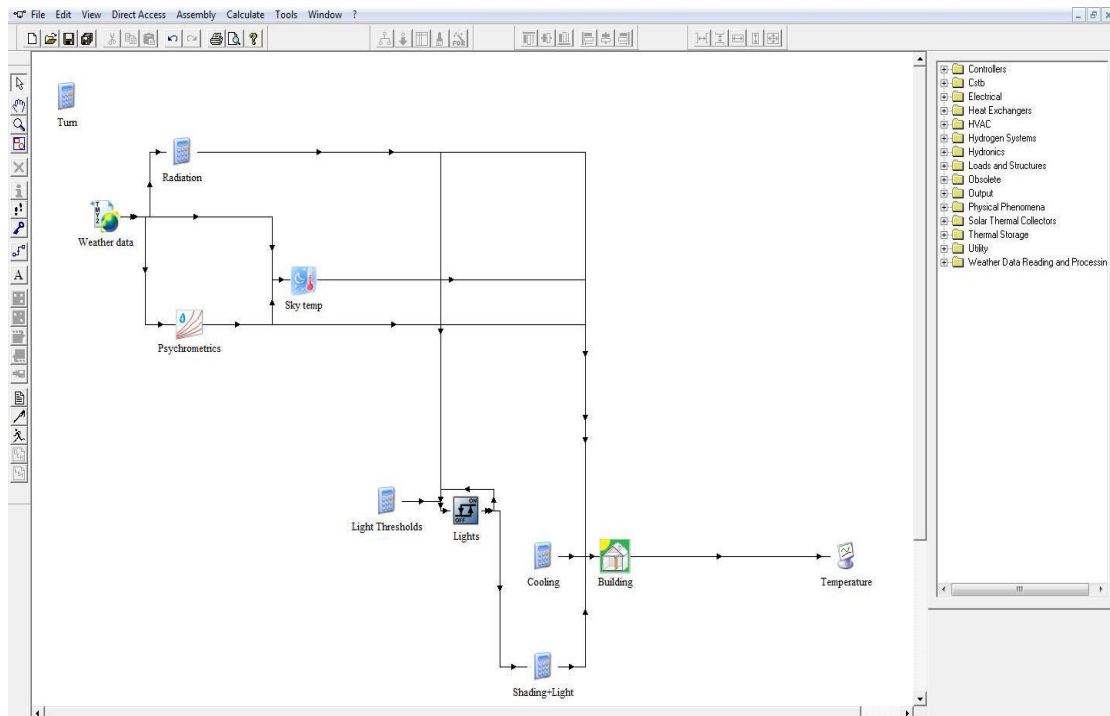
Εικόνα 5.9: Κινούμενη σκίαση

Σε αυτό το βήμα ο χρήστης μπορεί να εισάγει εσωτερική σκίαση στα παράθυρα του κτιρίου προσομοίωσης, για παράδειγμα κουρτίνες.



Εικόνα 5.10: Τελικό βήμα δημιουργίας κτιρίου

Με την επιλογή create project ο χρήστης δημιουργεί κτίριο με τα χαρακτηριστικά που δημιουργήθηκαν στα προηγούμενα βήματα.



Εικόνα 5.11: Προσομοίωση κτιρίου στο TRNSYS

Είναι η κεντρική σελίδα του λογισμικού TRNSYS και από αυτήν μπορεί ο χρήστης να κάνει οποιαδήποτε αλλαγή θελήσει στο κτίριο που προσομοιώνει. Εδώ φαίνονται τα διάφορα «types» τα οποία απαρτίζουν το σύστημα που προσομοιάζεται. Έτσι παρατηρείται το εικονίδιο για τα μετεωρολογικά δεδομένα, τα εικονίδια για την επεξεργασία αυτών, το εικονίδιο του κτιρίου, εικονίδια για φωτισμό, κλιματισμό καθώς και ένας εκτυπωτής για την εξαγωγή των δεδομένων.

Παραπάνω παρουσιάστηκαν τα βήματα ώστε να δημιουργηθεί με γρήγορο τρόπο το επιθυμητό κτίριο στο TRNSYS. Καθορίστηκαν οι βασικές παράμετροι οι οποίες μπορούν στη συνέχεια να αλλάξουν μέσα από το edit Building, κάνοντας δεξί κλικ πάνω στο εικονίδιο του κτιρίου. Ο παρακάτω πίνακας δίνει συγκεντρωτικά τα βασικά χαρακτηριστικά αυτού του τυπικού κτιρίου:

Πίνακας 5.1: Παράμετροι του κτιρίου

Παράμετρος	Τιμή	Παράμετρος	Τιμή
Εμβαδόν	100 m ²	Θερμικά κέρδη	14W/Mk
Ύψος	3m	Πυκνότητα ανθρώπων	0.1 person/m ²
Ανατολικός Υαλοπίνακας	3m ²	Φωτισμός	10W/m ²
Δυτικός Υαλοπίνακας	3m ²	Συντελεστής Σκίασης	50%
Νότιος Υαλοπίνακας	6m ²	Πόλη	Athens

Αξίζει να σημειωθεί ότι στις διάφορες περιπτώσεις κάποιες από αυτές τις παραμέτρους μπορεί να μεταβάλλονται και η οποιαδήποτε μεταβολή θα αναφέρεται στο αντίστοιχο σημείο. Στη συνέχεια, αναφέρονται οι ιδιότητες των δομικών στοιχείων τα οποία χρησιμοποιούνται στην ανάλυση. Πιο συγκεκριμένα, η θερμική αγωγιμότητα (k), η ειδική θερμοχωρητικότητα (c_p) και η πυκνότητα (ρ) δίνονται για 4 διαφορετικά υλικά (Τούβλο, σοβάς, μόνωση και τσιμέντο):

Πίνακας 5.2: Ιδιότητες Υλικών

	k (kJ/m K)	C_p (kJ/kg K)	ρ (kg/m ³)
Τούβλο	3.2	1	1800
Σοβάς	5	1	2000
Μόνωση	0.144	0.8	40
Τσιμέντο	7.56	0.5 - 1 - 1.5	2400

Στο τσιμέντο υπάρχουν 3 διαφορετικές τιμές για την ειδική θερμοχωρητικότητα ώστε να μελετηθούν περιπτώσεις για διαφορετικές τιμές της θερμικής μάζας. Στις διάφορες περιπτώσεις που εξετάζονται, η σύνθεση των δομικών στοιχείων (τοιχοί και οροφή) αλλάζει ώστε να μελετηθούν διαφορετικά κτιριακά κελύφη.

Στο τέλος αυτής της παραγράφου πρέπει να σημειωθεί πως η προσομοίωση πραγματοποιείται για ολόκληρο το έτος, δηλαδή για 8760 ώρες και το χρονικό βήμα της επίλυσης είναι 1h. Αυτό καθορίζεται από τις control cards στο studio προσομοίωσης.

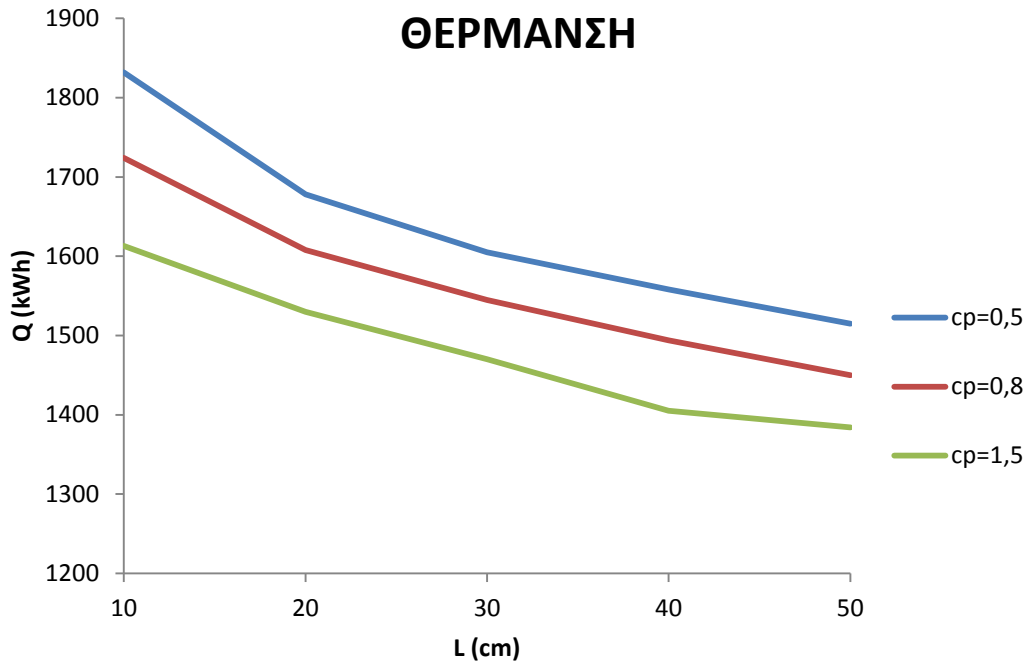
5.2 Θερμική μάζα κελύφους και φορτία

Σε αυτή τη παράγραφο γίνεται υπολογισμός των ψυκτικών και θερμικών φορτίων για διάφορες τιμές της θερμικής μάζας. Έτσι θα γίνει κατανοητό πως η θερμική μάζα επηρεάζει τη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου που αναλύεται. Ως θερμική μάζα του κτιρίου λαμβάνεται υπόψη η οροφή και οι εξωτερικοί τοίχοι και οι μεταβολές σε αυτά τα δομικά στοιχεία επιφέρουν μεταβολές στα φορτία.

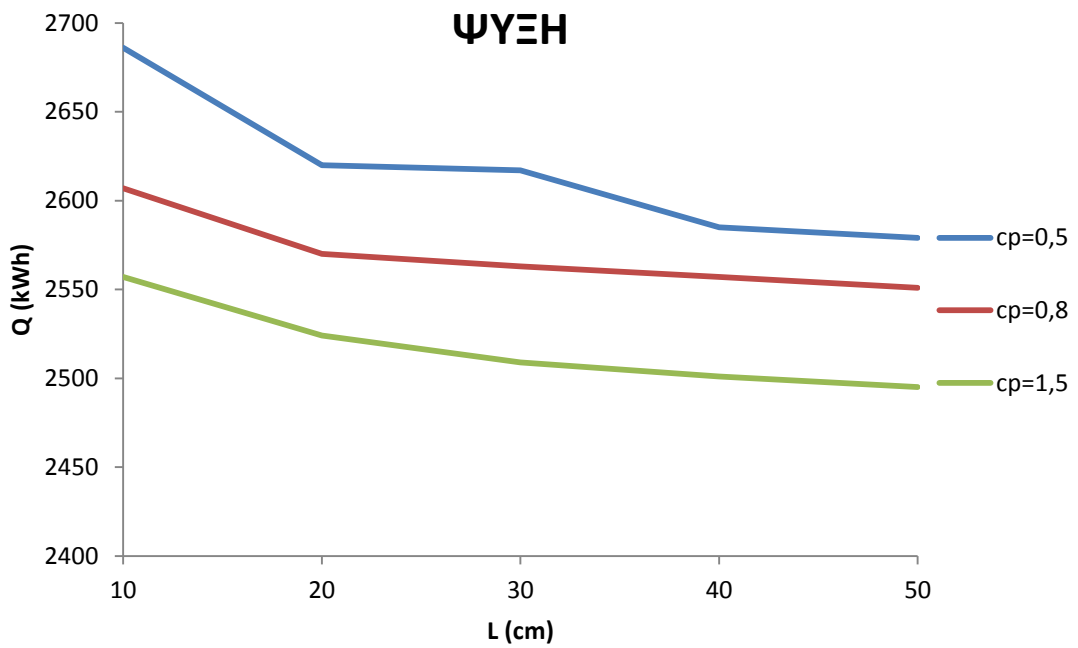
Για να μπορέσει η ανάλυση να γίνει παραμετρική και η οποία θα επηρεάζεται ουσιαστικά μόνο από τη θερμική μάζα, πρέπει η θερμική αντίσταση να παραμένει σταθερή για τις διάφορες προσομοιώσεις. Έτσι στο κτιριακό κέλυφος χρησιμοποιείται στρώμα μόνωσης το οποίο δεν μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια των δοκιμών. Έτσι η αντίσταση παραμένει σχεδόν σταθερή γεγονός που κάνει τα αποτελέσματα αξιόπιστα. Επίσης είναι σημαντικό να αναφερθεί πως η θερμική μάζα του στρώματος της μόνωσης είναι αρκετά μικρή εξαιτίας της πολύ χαμηλής πυκνότητας των μονωτικών υλικών [20-26].

Τα δομικά στοιχεία λοιπόν αποτελούνται από 2 στρώματα, ένα στρώμα τσιμέντου και ένα στρώμα μόνωσης. Η οροφή αποτελείται από 24cm τσιμέντου και 16cm μόνωσης. Τα πάχη αυτά παραμένουν σταθερά σε όλη τη προσομοίωση. Η θερμική μάζα της οροφής όμως μεταβάλλεται όταν αλλάζει η ειδική θερμοχωρητικότητα του τσιμέντου. Οι τοίχοι τώρα, αποτελούνται από ένα στρώμα τσιμέντου του οποίου το πάχος μεταβάλλεται από 10cm έως 50cm και 10cm μόνωσης τα οποία δεν αλλάζουν. Έτσι η θερμική μάζα του κάθε τοίχου μεταβάλλεται με το πάχος L του τοίχου, καθώς και με την ειδική θερμοχωρητικότητα. Για την ειδική θερμοχωρητικότητα τώρα, δοκιμάστηκαν 3 διαφορετικές τιμές, 0.5 - 1 - 1.5 kJ/kg K ώστε η θερμική μάζα του κτιρίου να λάβει τιμές σε μεγαλύτερο εύρος (kJ/K). Πρέπει να σημειωθεί πως η μόνωση έχει τοποθετηθεί εσωτερικά στα δομικά στοιχεία.

Τα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζουν τα θερμικά και τα ψυκτικά φορτία για όλες τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, κάθε διάγραμμα έχει 3 διαφορετικές καμπύλες όπου κάθε μία αντιστοιχεί σε διαφορετική τιμή του συντελεστή ειδικής θερμοχωρητικότητας. Σε κάθε καμπύλη τώρα, έχουν δοκιμαστεί πάχη του στρώματος του τσιμέντου 10,20,30,40 και 50cm.



Εικόνα 5.12: Φορτία θέρμανσης

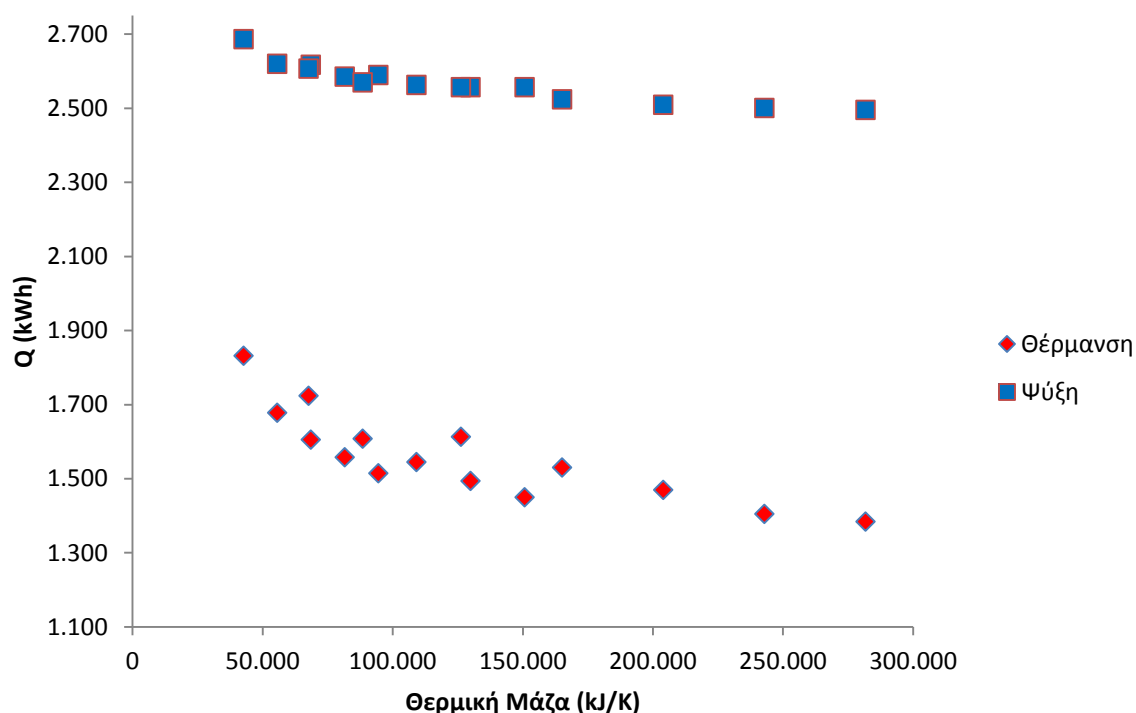


Εικόνα 5.13: Φορτία ψύξης

Τα παραπάνω διαγράμματα δείχνουν ότι καθώς αυξάνει το πάχος του τοιμέντου στον εξωτερικό τοίχο τα θερμικά και ψυκτικά φορτία μειώνονται. Δηλαδή η αύξηση της θερμικής μάζας στο κτιριακό κέλυφος οδηγεί σε μείωση των φορτίων, με συνέπεια την εξοικονόμηση ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Επίσης, από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται πως μετά από κάποιο πάχος η περαιτέρω αύξηση της θερμικής μάζας επιφέρει μικρές βελτιώσεις στη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου. Αυτό το πάχος είναι περίπου 40cm με βάση τα διαγράμματα 5.12 και 5.13 που παρουσιάστηκαν.

Ένα άλλο σημαντικό συμπέρασμα είναι ότι η θερμική μάζα επηρεάζει πιο πολύ τα φορτία θέρμανσης. Αυτό γίνεται αντιληπτό διότι η κλίση των καμπυλών για τα φορτία θέρμανσης είναι μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή για τα φορτία ψύξης. Έτσι όταν ένα κτίριο έχει ετησίως μεγάλη ζήτηση για θέρμανση, η αύξηση της θερμικής του μάζας είναι ένας αποδοτικός τρόπος για εξοικονόμηση ενέργειας.

Το διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζει τα φορτία θέρμανσης και ψύξης συναρτήσει της ολικής θερμικής μάζας του κτιρίου. Για τον υπολογισμό της ολικής θερμικής μάζας έγινε άθροιση των θερμικών μαζών των τοίχων και της οροφής. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε δομικό στοιχείο αθροιζόταν ξεχωριστά η θερμική μάζα του κάθε στρώματος.



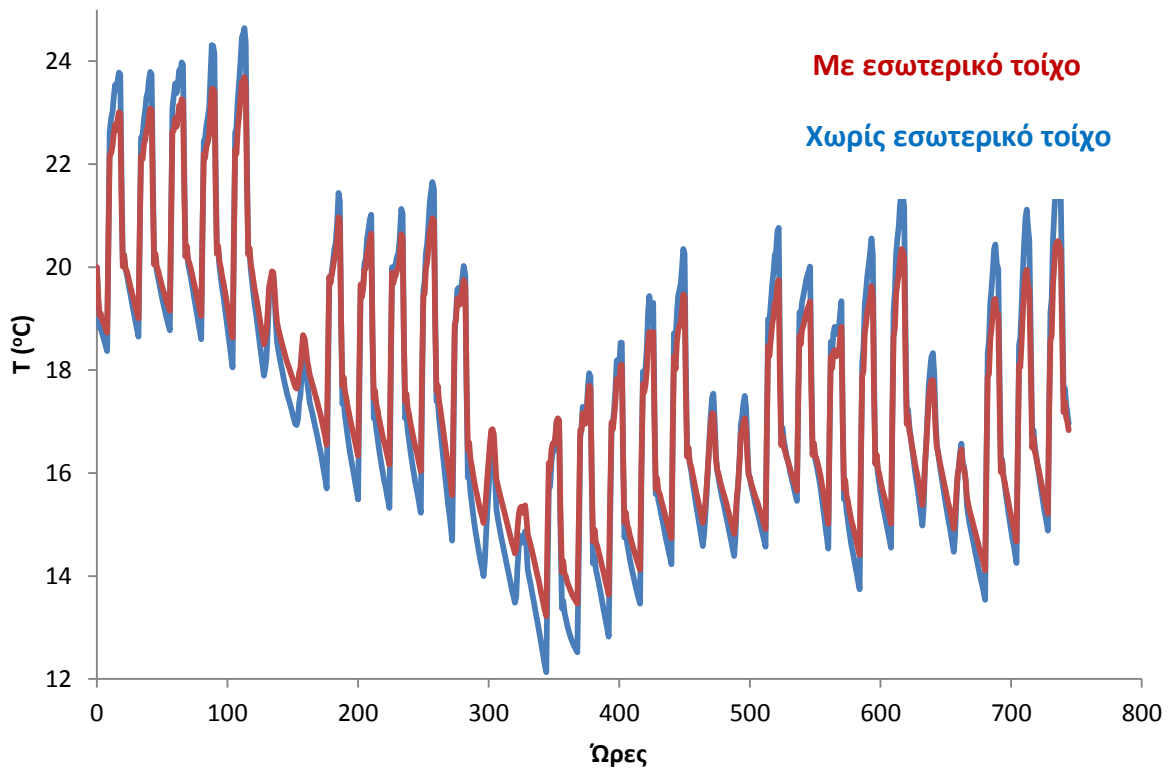
Εικόνα 5.14: Συσχέτιση θερμικής μάζας κτιρίου και φορτίων

Το διάγραμμα 5.14 δείχνει ότι τα φορτία μειώνονται καθώς η θερμική μάζα αυξάνει. Τα φορτία θέρμανσης είναι μικρότερα σε σχέση με αυτά της ψύξης, γεγονός που δικαιολογείται από το κλίμα της Ελλάδας το οποίο απαιτεί μεγάλες καταναλώσεις για κλιματισμό τους θερινούς μήνες. Επίσης, το παραπάνω διάγραμμα δείχνει ότι η μείωση στα ψυκτικά φορτία είναι μικρή ενώ στα θερμικά είναι μεγάλη. Όπως φαίνεται, τα ψυκτικά φορτία είναι σχεδόν παράλληλα με τον οριζόντιο άξονα (υπάρχει μικρή αρνητική κλίση), ενώ η κλίση των θερμικών φορτίων είναι ξεκάθαρα αρνητική. Αυτό σημαίνει, ότι η σημαντική αύξηση θερμικής μάζας ενός κελύφους, επηρεάζει θετικά τη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου περισσότερο τους χειμερινούς μήνες, ενώ τους καλοκαιρινούς πολύ λιγότερο. Πρακτικά η σημαντική αύξηση θερμικής μάζας σε κτιριακά κελύφη, συμφέρει περισσότερο σε χώρες με αρκετά ψυχρό κλίμα, που χρειάζονται περισσότερα θερμικά φορτία τους κρύους μήνες και τους καλοκαιρινούς δεν χρησιμοποιούν κλιματιστικές συσκευές για τον δροσισμό τους.

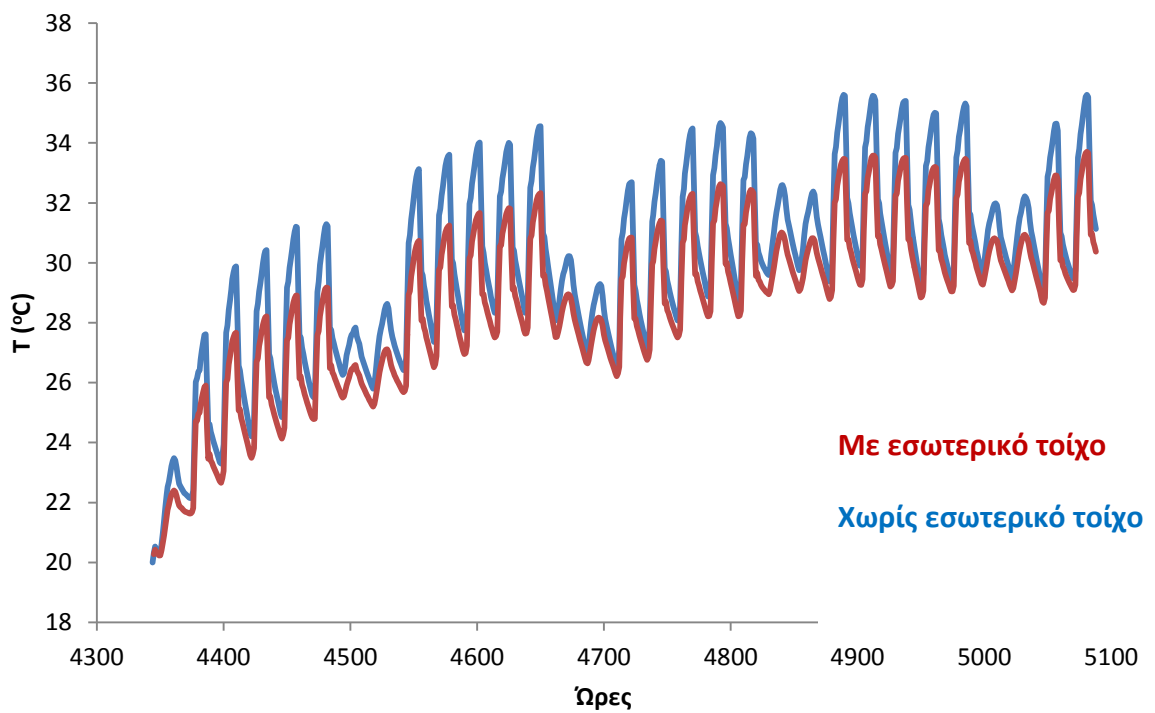
5.3 Επίδραση εσωτερικών τοίχων στην ημερήσια διακύμανση

Σε αυτή τη παράγραφο μελετάται η επίδραση των εσωτερικών τοίχων στην ημερήσια διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας. Έτσι γίνεται σύγκριση ανάμεσα στο τυπικό κτίριο που αναλύθηκε στην παράγραφο 5.1 με ένα όμοιο το οποίο έχει έναν εσωτερικό τοίχο ο οποίος χωρίζει το κτίριο σε 2 ίσα δωμάτια και έχει προσανατολισμό στην ευθεία βορρά-νότου. Η ύπαρξη εσωτερικού τοίχου αυξάνει την θερμική μάζα του κτιρίου με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η θερμική συμπεριφορά του και συνεπώς οι ετήσιες καταναλώσεις του. Στις προσομοιώσεις που γίνονται οι εξωτερικοί τοίχοι έχουν πάχος 37cm (1.5cm σοβάς, 24m τούβλο, 10cm και 1.5cm) και ο εσωτερικός έχει 3 στρώματα (1.5cm σοβάς, 9cm τούβλο και 1.5cm σοβάς).

Για να πραγματοποιηθεί μια ανάλυση η οποία θα καλύπτει και το καλοκαίρι, έγινε ανάλυση για Ιανουάριο και Ιούλιο και παρουσιάζεται στα παρακάτω διαγράμματα. Με μπλε χρώμα είναι η περίπτωση χωρίς εσωτερικό τοίχο και με κόκκινο είναι η περίπτωση με εσωτερικό τοίχο.



Εικόνα 5.15: Σύγκριση διακύμανσης εσωτερικής θερμοκρασίας για το μήνα Ιανουάριο



Εικόνα 5.16: Σύγκριση διακύμανσης εσωτερικής θερμοκρασίας για το μήνα Ιούλιο

Από τα πάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι η διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας μειώνεται όταν υπάρχει εσωτερικός τοίχος μέσα στο κτίριο, γεγονός που είναι λογικό. Πιο συγκεκριμένα, ένας εσωτερικός τοίχος αποθηκεύει ενέργεια την οποία αποδίδει αργότερα στο χώρο με αποτέλεσμα να μειώνονται τα θερμοκρασιακά μέγιστα και ελάχιστα κατά τη διάρκεια της μέρας και έτσι να μειώνεται η διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας.

Αξιοσημείωτο είναι ότι στο σχήμα 5.15 για μερικές ώρες μόνο, η μέγιστη εσωτερική θερμοκρασία ξεπερνά την μέγιστη ημερήσια εξωτερική, γεγονός που εξηγείται από την ακτινοβολία της συγκεκριμένης ημέρας. Δηλαδή, σε μία συννεφιασμένη ημέρα η εξωτερική θερμοκρασία είναι μικρή σχετικά ενώ η εσωτερική μπορεί να είναι υψηλότερη εξαιτίας της αποθηκευμένης θερμότητας στα δομικά στοιχεία από την προηγούμενη ημέρα.

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων διαπιστώθηκε ότι η μέση ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας για τον Ιανουάριο είναι 4.98 °C για το τυπικό κτίριο χωρίς τον εσωτερικό τοίχο, ενώ για το κτίριο με τον εσωτερικό τοίχο είναι 3.84 °C. Αντίστοιχα η μέση ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας για τον Ιούλιο είναι 5.02 °C για το τυπικό κτίριο χωρίς τον εσωτερικό τοίχο, ενώ για το κτίριο με τον εσωτερικό τοίχο είναι 3.73 °C. Έτσι παρατηρείται ότι η ύπαρξη του εσωτερικού τοίχου μειώνει την ημερήσια διακύμανση κατά 1.14 °C το χειμώνα και 1.29 °C το καλοκαίρι.

Συμπερασματικά, η αύξηση της θερμικής μάζας μπορεί να οδηγήσει στην μείωση της διακύμανσης της εσωτερικής θερμοκρασίας και το χειμώνα και το καλοκαίρι, γεγονός πολύ σημαντικό για τον ενεργειακό σχεδιασμό των κτιρίων. Έτσι, τοποθετώντας εσωτερικούς τοίχους σε ένα χώρο βελτιώνεται η θερμική άνεση και μειώνονται τα ψυκτικά και θερμικά φορτία.

5.4 Σύγκριση φορτίων για πραγματικές τοιχοποιίες

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται σύγκριση 3 κτιρίων τα οποία διαφέρουν στους εξωτερικούς τοίχους. Πιο συγκεκριμένα, διατηρώντας σταθερές τις λοιπές παραμέτρους, αλλάζουν οι εξωτερικοί τοίχοι ώστε να προσομοιωθούν 3 διαφορετικά κτίρια. Το πρώτο κτίριο αποτελείται από τοίχο με τούβλο και σοβά, το δεύτερο έχει και μόνωση και το τρίτο έχει επιπλέον τούβλο. Ουσιαστικά γίνεται σύγκριση ενός αμόνωτου τοίχου, ενός μονωμένου και ενός μονωμένου με μεγαλύτερη θερμική μάζα. Ο πίνακας που ακολουθεί δείχνει την ακριβή δομή του κάθε τοίχου.

Πίνακας 5.3: Στρώματα εξωτερικών τοίχων για τις 3 περιπτώσεις

Περίπτωση	1.5cm	24cm	10cm	24cm	1.5cm
1	σοβάς	τούβλο	-	-	σοβάς
2	σοβάς	τούβλο	μόνωση	-	Σοβάς
3	σοβάς	τούβλο	μόνωση	τούβλο	Σοβάς

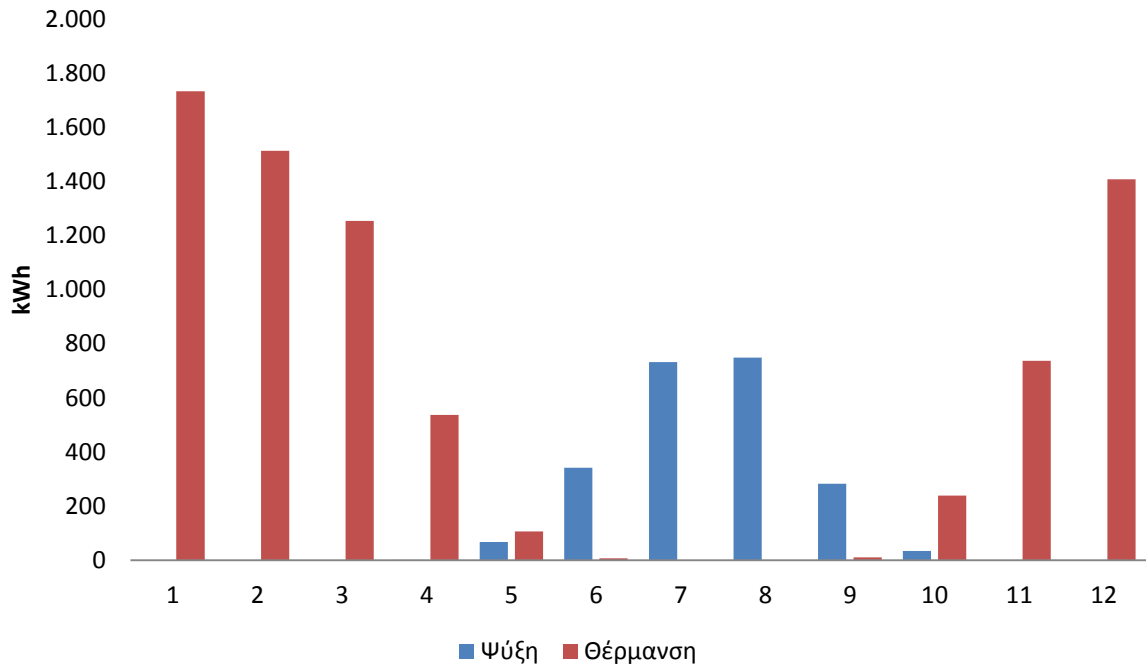
Μετά την ανάλυση που έγινε με το λογισμικό TRNSYS 16, υπολογίστηκαν τα παρακάτω φορτία θέρμανσης και ψύξης για τις 3 διαφορετικές περιπτώσεις.

Πίνακας 5.4: Φορτία για τις 3 περιπτώσεις

Περιπτώσεις	1	2	3
Θέρμανση (kWh)	7540	1530	1360
Ψύξη(kWh)	2210	2610	2750

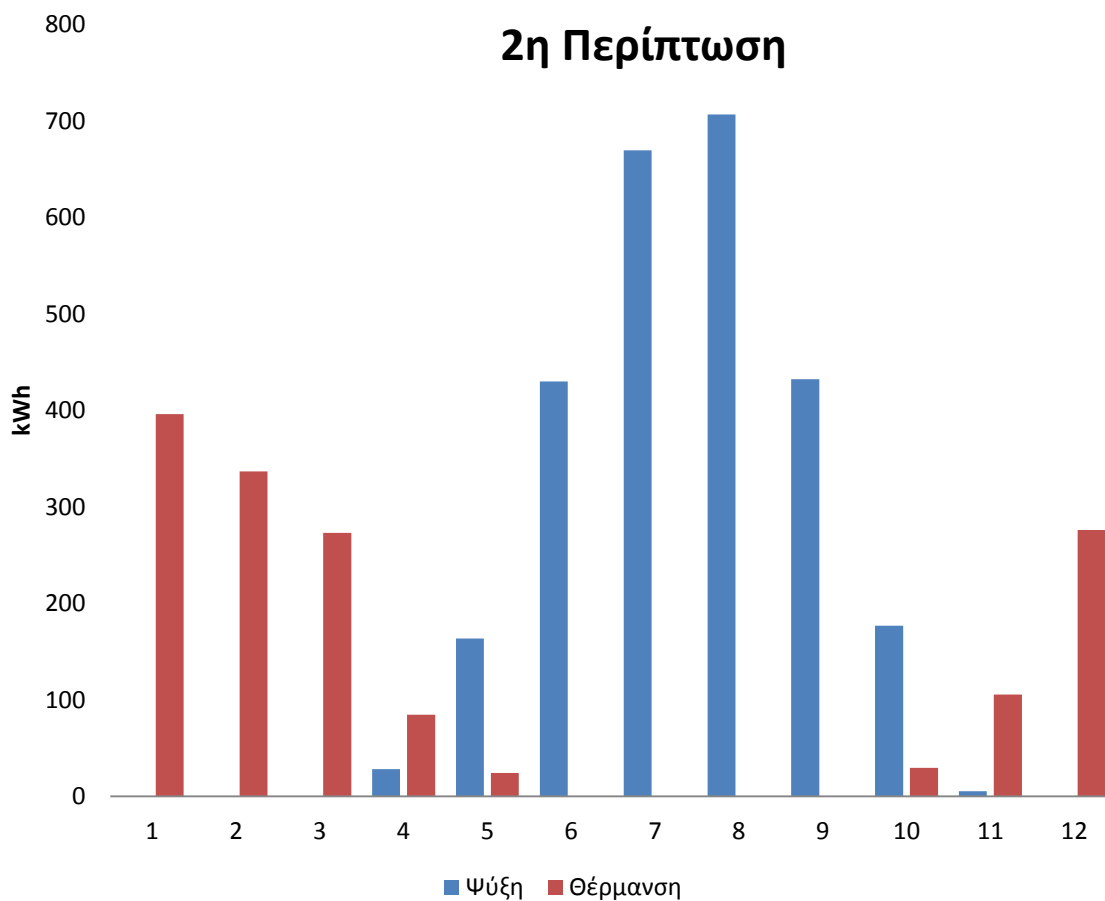
Αξιοσημείωτο είναι ότι το φορτίο θέρμανσης του αμόνωτου τοίχου είναι τεράστιο σε σχέση με τα υπόλοιπα 2, γεγονός το οποίο δείχνει τη σημασία της μόνωσης για τα κτίρια. Επίσης το θερμικό φορτίο μειώνεται με την αύξηση της θερμικής μάζας (περίπτωση 3). Το παράδοξο κατά κάποιο τρόπο είναι ότι η ύπαρξη της μόνωσης αυξάνει τα φορτία για κλιματισμό (περιπτώσεις 2 και 3). Αυτό εξηγείται διότι η μόνωση αποθηκεύει την θερμότητα μέσα στο κτίριο τους καλοκαιρινούς μήνες και δεν την αφήνει να διαφύγει διά μέσου των τοίχων. Τα παρακάτω διαγράμματα δείχνουν τα μηνιαία ψυκτικά και θερμικά φορτία κατά τη διάρκεια του έτους για τις 3 περιπτώσεις που αναλύονται:

1η Περίπτωση



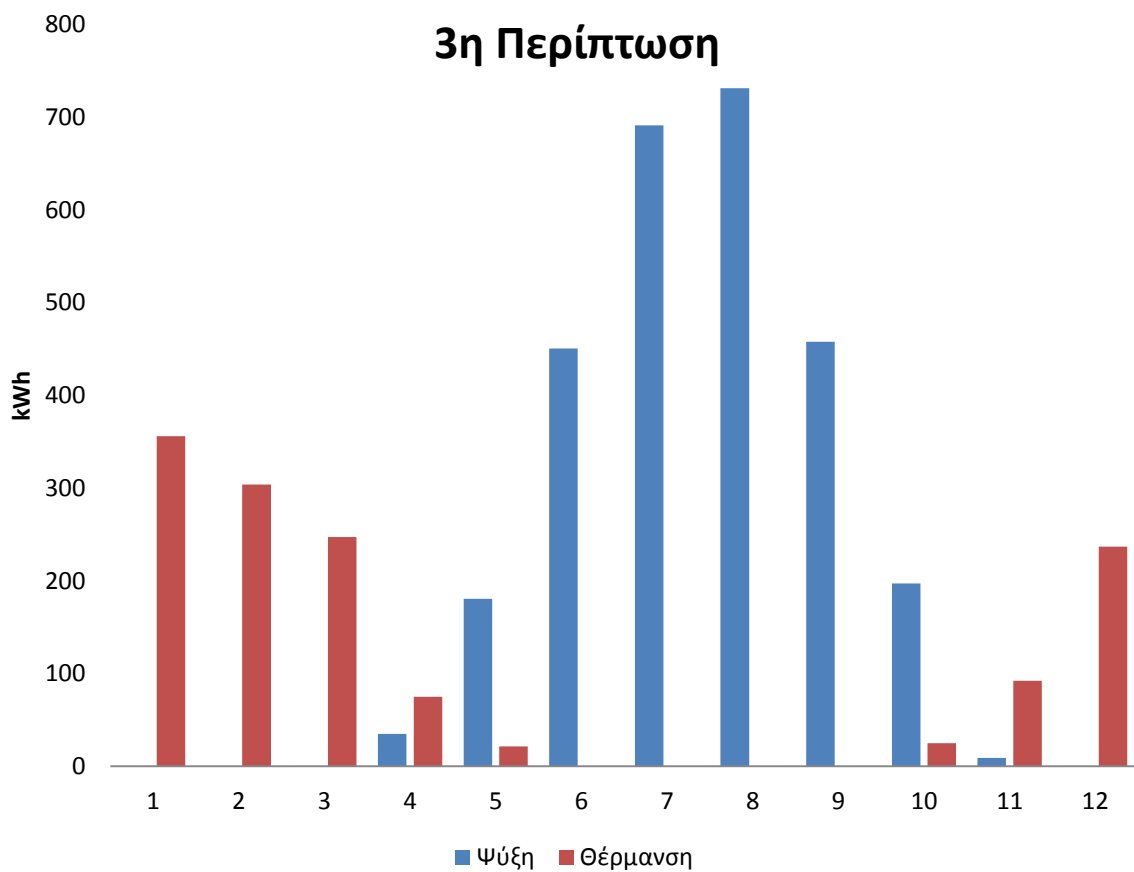
Εικόνα 5.17: Φορτία περίπτωσης 1

Το παραπάνω διάγραμμα δείχνει πως ανάγκη για θέρμανση υπάρχει τους χειμερινούς μήνες και την άνοιξη ενώ το καλοκαίρι υπάρχει ανάγκη για κλιματισμό. Τα φορτία θέρμανσης εδώ είναι εν γένει μεγαλύτερα σε σχέση με αυτά του κλιματισμού, γεγονός που εξηγείται από την απώλεια της μόνωσης.



Εικόνα 5.18: Φορτία περίπτωσης 2

Σε αυτή τη περίπτωση, τα φορτία κλιματισμού είναι αρκετά μεγάλα σε σχέση με αυτά της θέρμανσης, όπως παρατηρείται από το παραπάνω διάγραμμα. Σε αυτό έχει συμβάλει η ύπαρξη της μόνωσης στους εξωτερικούς τοίχους. Έτσι φαίνεται πως ένα μονωμένο σπίτι είναι πάρα πολύ ενεργειακά αποδοτικό, ιδιαίτερα σε ψυχρά κλίματα.



Εικόνα 5.19: Φορτία περίπτωσης 3

Σε αυτή τη περίπτωση, τα θερμικά φορτία μειώθηκαν κι άλλο ενώ τα ψυκτικά αυξήθηκαν λίγο. Η αύξηση της θερμικής μάζας λοιπόν, οδηγεί σε ενεργειακά αποδοτικότερα κτίρια κυρίως τους χειμερινούς μήνες.

5.5 Επίδραση υαλοπινάκων στα φορτία

Σε αυτή τη παράγραφο θα γίνει ανάλυση για το πώς οι υαλοπίνακες επηρεάζουν τα θερμικά και ψυκτικά φορτία ενός κτιρίου. Οι υαλοπίνακες χρησιμοποιούνται για πολλούς λόγους στα κτίρια. Κατ' αρχάς η βασική τους λειτουργία είναι να επιτρέπουν στην ηλιακή ακτινοβολία να εισέρχεται εντός του χώρου και να τον φωτίζει. Επίσης, με την είσοδο αυτής της ακτινοβολίας, ο χώρος το χειμώνα θερμαίνεται σημαντικά, ιδιαίτερα τις ώρες μεγάλης ηλιοφάνειας. Το πρόβλημα όμως δημιουργείται τους θερινούς μήνες όπου η μεγάλη ηλιοφάνεια οδηγεί σε υπερθέρμανση του χώρου και σε μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας. Τέλος, οι υαλοπίνακες δρουν ως μια μεγάλη απώλεια θερμότητας τις βραδινές ώρες του χειμώνα όπου δεν υπάρχει ηλιοφάνεια. Η αιτία γι αυτήν την απώλεια είναι η μεγάλη θερμική αγωγιμότητα του τζαμιού η οποία δεν περιορίζει την μετάδοση της θερμότητας. Γι αυτό στην προκειμένη ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν διπλοί υαλοπίνακες ώστε να υπάρχει καλύτερη θερμομόνωση και το κτίριο να είναι πιο αποδοτικό ενεργειακά.

Έτσι στην ανάλυση που ακολουθεί μελετάται η επίδραση των υαλοπινάκων στα φορτία ώστε να υπολογιστεί η βέλτιστη λύση για το κτίριο που μελετάται. Πρόκειται για το τυπικό κτίριο που έχει αναφερθεί με 120m^2 παράπλευρης επιφάνειας στην οποία τοποθετούνται οι υαλοπίνακες. Μελετήθηκαν διάφορες περιπτώσεις υαλοπινάκων στις οποίες άλλαζε το μέγεθος τους αλλά όχι ο προσανατολισμός τους. Δηλαδή το μεγαλύτερο μέρος τους τοποθετείται στο νότο και το υπόλοιπο κομμάτι μοιράζεται ισόποσα σε ανατολή και δύση με το βόρειο τοίχο να μην έχει υαλοπίνακες. Πιο συγκεκριμένα, το 50% των υαλοπινάκων ήταν στο νότο και από 25% σε ανατολή και δύση.

Το κριτήριο για τη βελτιστοποίηση του μεγέθους των υαλοπινάκων στο κτίριο είναι η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Για να γίνει η μετάβαση από τη θερμική στην ηλεκτρική ενέργεια έγινε η παρακάτω παραδοχή. Θεωρείται πως η θερμική ενέργεια για θέρμανση γίνεται με βαθμό απόδοσης 90% ενώ η ψυκτική ισχύς δίνεται από κλιματιστική συσκευή με συντελεστή συμπεριφοράς (COP) ίσο με 3. Η παρακάτω σχέση δίνει την ηλεκτρική ισχύ :

$$P_{el} = \frac{Q_{\theta\epsilon\rho\mu\alpha\nu\sigma\iota\varsigma}}{0.9} + \frac{Q_{\nu\upsilon\lambda\eta\sigma}}{3}, \quad (5.1)$$

Αυτή η σχέση θα δώσει τη βέλτιστη λύση ώστε η ενεργειακή κατανάλωση να ελαχιστοποιείται. Πρέπει να σημειωθεί ότι η ανάλυση γίνεται ετησίως και συνυπολογίζονται χειμερινά και εαρινά φορτία.

Επίσης, η ανάλυση γίνεται για 2 διαφορετικά κλίματα τα οποία έχουν διαφορετική ηλιοφάνεια και διαφορετικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Έτσι η ανάλυση έγινε για Ελλάδα που υπάρχει αρκετή ηλιοφάνεια και για Σουηδία όπου το κλίμα είναι αρκετά πιο ψυχρό.

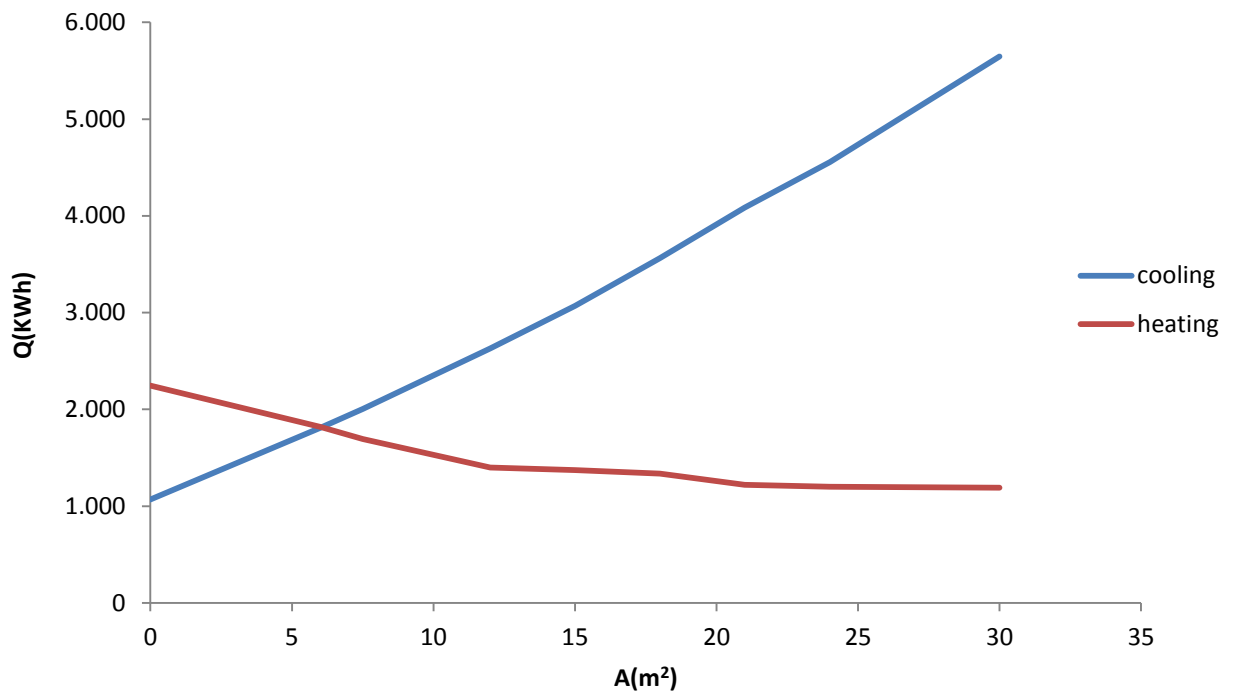
5.5.1 Κτίριο σε Ελλάδα

Σε αυτήν την παράγραφο δίνονται τα αποτελέσματα για τα ψυκτικά και θερμικά φορτία για την Ελλάδα. Επίσης υπολογίζεται η ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση για το κτίριο. Ο παρακάτω πίνακας δίνει αναλυτικά τα αποτελέσματα των υπολογισμών που έγιναν.

Πίνακας 5.5: Φορτία για Ελλάδα

A(m ²)	Θέρμανση (kWh)	Ψύξη (kWh)	Ηλεκτρική κατανάλωση (kWh _e)
0	2246	1067	2851
6	1818	1810	2623
7,5	1692	2004	2548
12	1400	2629	2432
15	1373	3069	2549
18	1337	3562	2673
21	1221	4084	2718
24	1200	4557	2852
30	1189	5647	3203

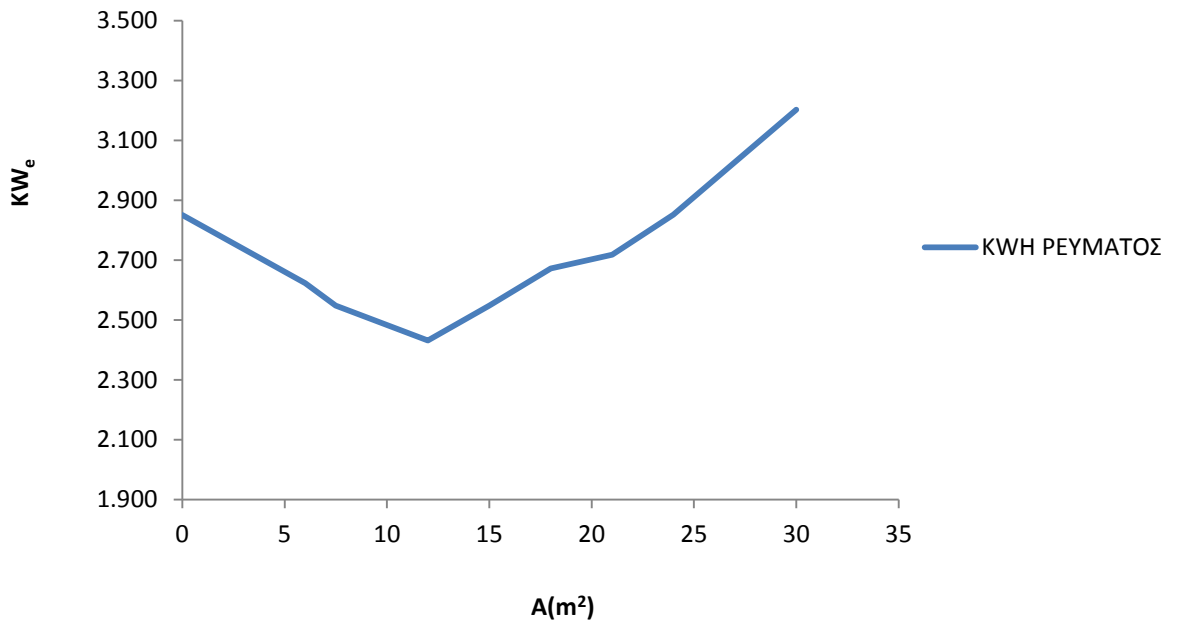
Από το παραπάνω πίνακα φαίνονται τα συνολικά τετραγωνικά υαλοπινάκων του κτιρίου σε κάθε περίπτωση που εξετάστηκε. Αρχικά προσομοιώθηκε ένα κτήριο χωρίς υαλοπίνακες, στη συνέχεια βαθμιαία αυξήθηκε το μέγεθος τους ως τα 30m² συνολικά. Το διάγραμμα που ακολουθεί δείχνει πως επηρεάστηκαν τα θερμικά και τα ψυκτικά φορτία.



Εικόνα 5.20: Ψυκτικά και θερμικά φορτία για Ελλάδα

Το παραπάνω σχήμα δείχνει πως καθώς τοποθετούνται στο κτίριο υαλοπίνακες, τα φορτία θέρμανσης (heating) μειώνονται, ενώ τα φορτία κλιματισμού (cooling) αυξάνουν. Αυτό είναι λογικό διότι οι υαλοπίνακες επιτρέπουν στον ήλιο να μπει στο κτίριο γεγονός το οποίο είναι ωφέλιμο κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ενώ είναι μη επιθυμητό για τους θερινούς μήνες. Επίσης παρατηρείται ότι η καμπύλη της θέρμανσης γίνεται οριζόντια μετά τα 20m² περίπου, γεγονός που δείχνει ότι μετά η επιπλέον προσθήκη υαλοπινάκων στο σπίτι δεν επιφέρει κέρδος θέρμανσης κατά τους χειμερινούς μήνες. Αντίθετα η καμπύλη για ψύξη δείχνει πως είναι περίπου γραμμική γεγονός που αποδεικνύει ότι καθώς αυξάνει το ποσοστό των υαλοπινάκων στο κτίριο αυξάνονται με σταθερό ρυθμό οι απαιτήσεις για ψύξη του κτιρίου. Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει την ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση ανάλογα με τους υαλοπίνακες.

KWH ΡΕΥΜΑΤΟΣ

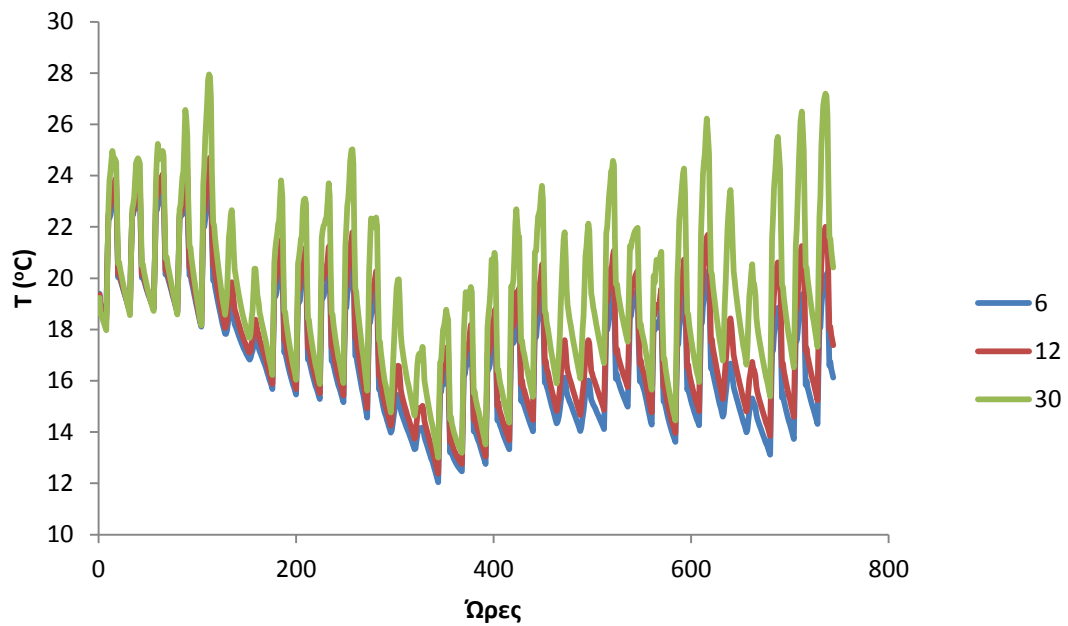


Εικόνα 5.21: Κατανάλωση ηλεκτρισμού για Ελλάδα

Από την εικόνα 5.21 παρατηρείται πως η ελάχιστη ηλεκτρική κατανάλωση είναι για 12m² υαλοπινάκων (6m² στο νότο, 3m² στην ανατολή και 3m² στη δύση). Δηλαδή το 20% του νότιου τοίχου (6/30=20%) είναι καλυμμένο με υαλοπίνακες, ενώ το 10% (3/30=10%) για την ανατολή και τη δύση έχει υαλοπίνακες.

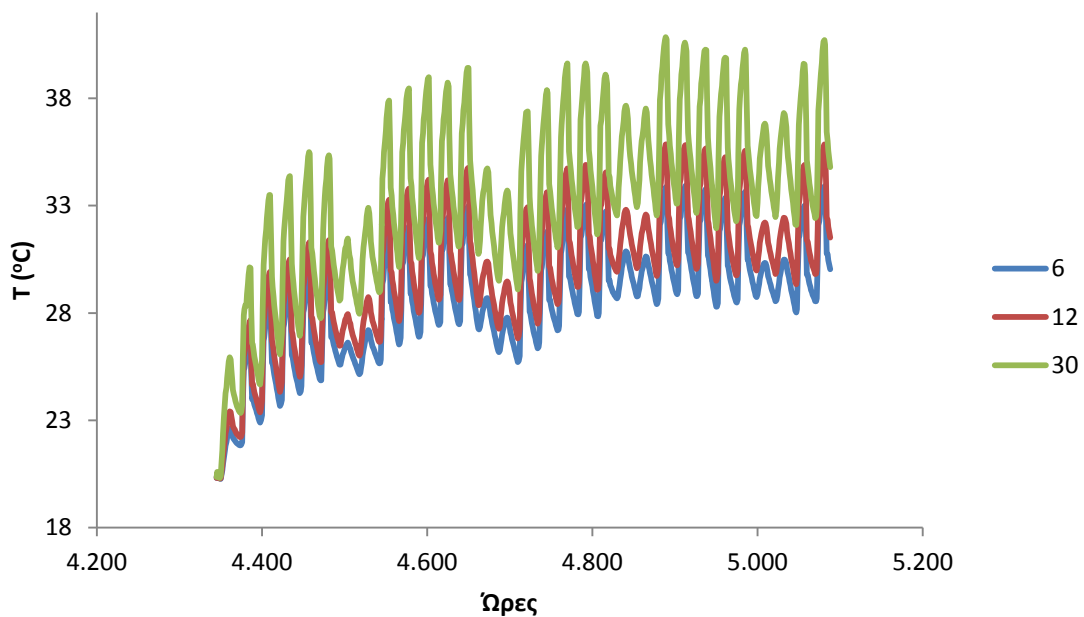
5.5.2 Επίδραση υαλοπινάκων στη διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας

Σε αυτή την παράγραφο θα γίνει μελέτη για το πως η ύπαρξη υαλοπινάκων, επηρεάζει την διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας του τυπικού κτιρίου. Συγκεκριμένα, έγιναν 3 δοκιμές υαλοπινάκων για το τυπικό κτίριο και χρησιμοποιήθηκαν αντίστοιχα για κάθε περίπτωση 6, 12, και 30 m². Πήραμε δηλαδή από την παραπάνω ανάλυση, το ελάχιστο, το μέγιστο και το βέλτιστο ποσοστό υαλοπίνακα που χρησιμοποιήθηκε. Ακόμη, τα διαγράμματα αφορούν 2 τυπικούς μήνες για χειμώνα και καλοκαίρι, όπως έγινε και στην παράγραφο 5.3, δηλαδή για Ιανουάριο και Ιούλιο.



Εικόνα 5.22: Προφίλ θερμοκρασιών Ιανουαρίου

Σε αυτό το διάγραμμα φαίνονται τα προφίλ θερμοκρασιών για τον μήνα Ιανουάριο για τις περιπτώσεις 6, 12 και 30 m² συνολικών υαλοπινάκων. Φαίνεται ότι με τα 30 τετραγωνικά μέτρα υαλοπινάκων στους τοίχους η θερμοκρασία αυξάνεται σημαντικά σε σχέση με τις άλλες δύο περιπτώσεις, γεγονός λογικό αφού οι υαλοπίνακες επιτρέπουν στην ηλιακή ακτινοβολία να εισέλθει εντός του χώρου και να τον θερμάνει.



Εικόνα 5.23: Προφίλ θερμοκρασιών Ιουλίου

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται πως καθώς αυξάνει το ποσοστό των υαλοπινάκων στο κτίριο, η εσωτερική θερμοκρασία αυξάνει αρκετά. Ιδιαίτερα η περίπτωση που εξετάστηκε με τα 30m² παρουσιάζει πολύ υψηλές θερμοκρασίες οι οποίες μπορεί να αγγίξουν και τους 40°C.

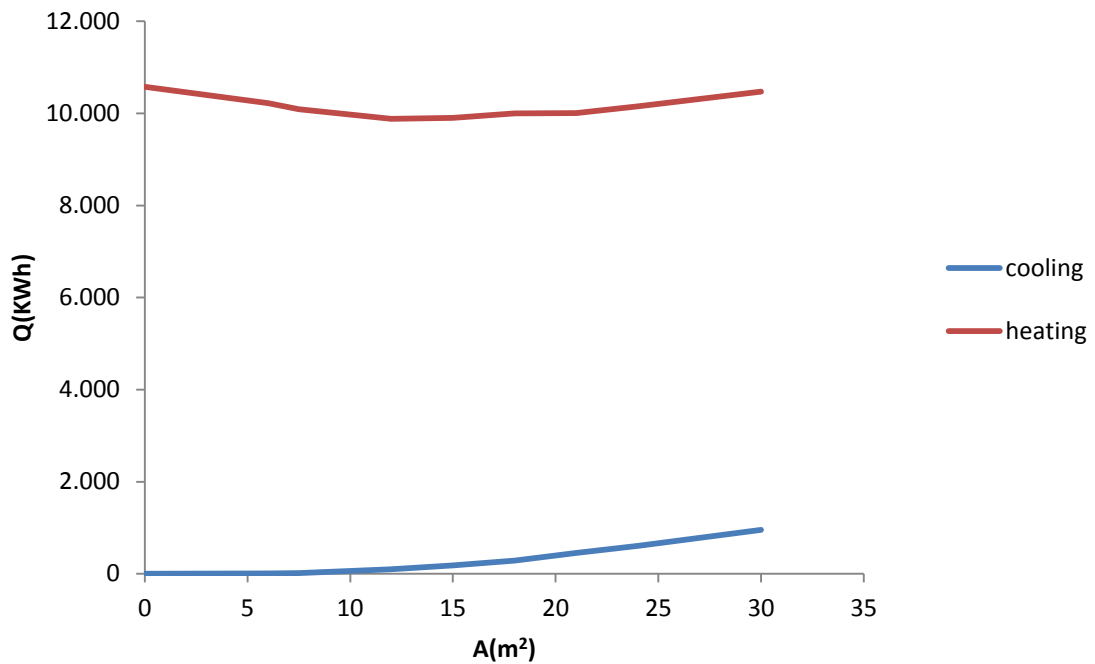
5.5.2 Κτίριο σε Σουηδία

Σε αυτήν την παράγραφο δίνονται τα αποτελέσματα για τα θερμικά και ψυκτικά φορτία για τη Σουηδία. Επίσης υπολογίζεται η ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση για το κτίριο, όπως έγινε και για την Ελλάδα. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τα αποτελέσματα:

Πίνακας 5.6: Φορτία για Σουηδία

A(m ²)	Θέρμανση (kWh)	Ψύξη (kWh)	Ηλεκτρική κατανάλωση (kWh _e)
0	10580	0	10580
6	10220	7	10227
7,5	10090	19	10109
12	9881	99	9980
15	9900	180	10080
18	10000	289	10289
21	10010	457	10467
24	10150	609	10759
30	10470	953	11423

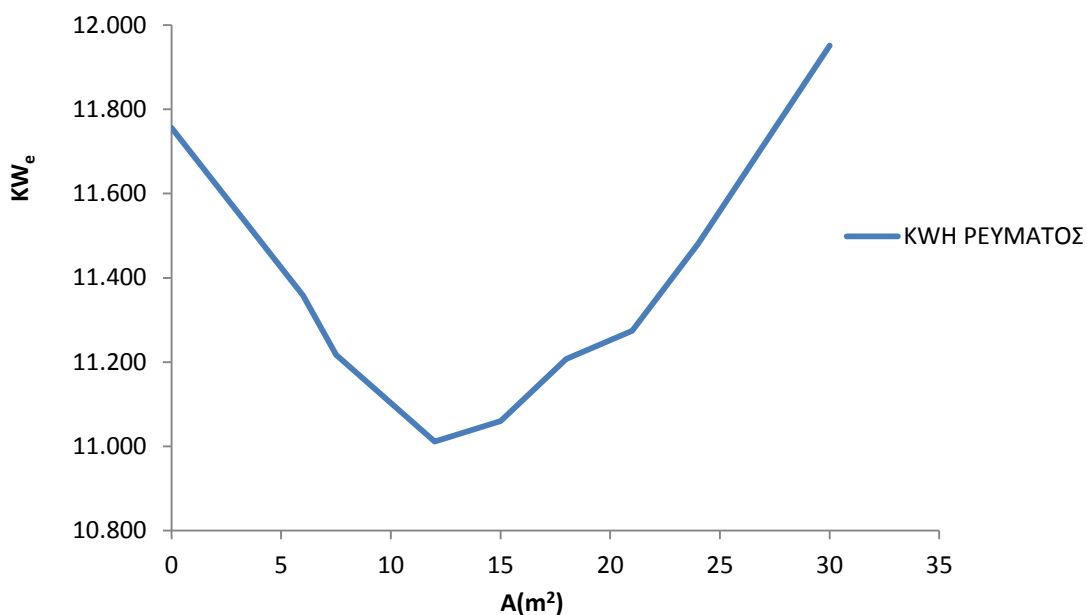
Ο πίνακας αυτός παρουσιάζει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης με το λογισμικό TRNSYS 16 για τη Σουηδία. Παρατηρείται πως τα ψυκτικά φορτία είναι ελάχιστα, σε κάποιες περιπτώσεις σχεδόν μηδενικά, ενώ τα θερμικά πολύ υψηλά, γεγονός που οφείλεται στο ψυχρό κλίμα της χώρας.



Εικόνα 5.24: Ψυκτικά και θερμικά φορτία για Σουηδία

Εδώ παρατηρείται πως το ψυκτικό φορτίο αυξάνει με την αύξηση των υαλοπινάκων, ενώ το θερμικό παραμένει περίπου σταθερό. Για το θερμικό φορτίο που παρατηρείται ότι αρχικά μειώνεται λίγο όπως είναι αναμενόμενο, αλλά μετά αυξάνει λίγο. Αυτό εξηγείται διότι η μεγάλη επιφάνεια υαλοπινάκων προσδίδει μεγάλες ενεργειακές απώλειες εξαιτίας της μεγάλης θερμικής διαπερατότητας τους. Επίσης, η ύπαρξη υαλοπινάκων επηρεάζει λίγο τη θέρμανση του κτιρίου στη Σουηδία, διότι εκεί η ηλιοφάνεια είναι σχετικά μικρή. Άρα ως συμπέρασμα προκύπτει πως δεν είναι δυνατή η ουσιαστική μείωση των φορτίων θέρμανσης σε μια χώρα με πολύ χαμηλή ηλιοφάνεια χρησιμοποιώντας αρκετούς υαλοπίνακες. Τέλος, το διάγραμμα δείχνει πως τα φορτία κλιματισμού είναι πολύ μικρά σε σχέση με αυτά της θέρμανσης σε μια χώρα με ψυχρό κλίμα, γεγονός αναμενόμενο. Το επόμενο διάγραμμα παρουσιάζει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη Σουηδία.

KWH ΡΕΥΜΑΤΟΣ



Εικόνα 5.25: Κατανάλωση ηλεκτρισμού για Σουηδία

Εδώ πάλι παρατηρείται ότι η ελάχιστη ηλεκτρική κατανάλωση είναι για 12m^2 υαλοπινάκων (6m^2 στο νότο, 3m^2 στην ανατολή και 3m^2 στη δύση). Δηλαδή το 20% του νότιου τοίχου ($6/30=20\%$) είναι καλυμμένο με υαλοπίνακες, ενώ το 10% ($3/30=10\%$) για την ανατολή και τη δύση έχει υαλοπίνακες.

Αυτό το γεγονός κάνει το προφανές συμπέρασμα γενικευμένο, δηλαδή πως σε ένα κτίριο, **ανεξαρτήτως** τοποθεσίας, 12m^2 υαλοπίνακα για 120m^2 συνολικής επιφάνειας δίνουν ελάχιστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Με άλλα λόγια, το 10% της παράπλευρης επιφάνειας του κτιρίου πρέπει να φέρει υαλοπίνακες.

5.6 Μελέτη κτιρίου χωρίς θέρμανση και κλιματισμό

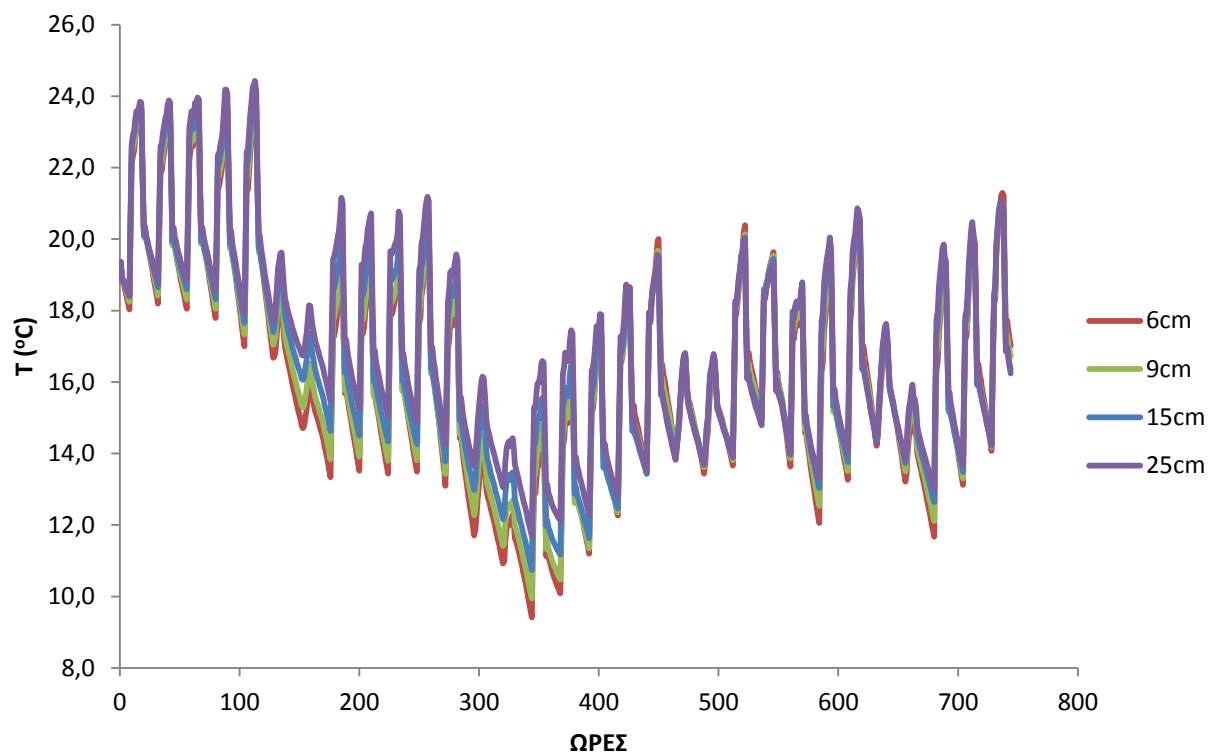
Σε αυτή τη παράγραφο γίνεται διερεύνηση για το πώς η θερμική μάζα των κτιρίων επηρεάζει το θερμοκρασιακό προφίλ εντός αυτών. Πιο συγκεκριμένα, στην προσομοίωση που γίνεται θεωρείται πως δεν υπάρχει θέρμανση και κλιματισμός στους χώρους αυτούς, δηλαδή η θερμοκρασία των κτιρίων επηρεάζεται από το περιβάλλον και τα εσωτερικά φορτία.

Δοκιμάστηκαν 4 διαφορετικά είδη τοιχοποιίας, τα οποία έχουν την δομή σοβάς-τούβλο-μόνωση-τούβλο-σοβάς. Σε κάθε περίπτωση το στρώμα της μόνωσης παραμένει το ίδιο ώστε η θερμική διαπερατότητα των τοίχων να είναι σχεδόν η ίδια σε όλα τα τρεξίματα. Επίσης τα στρώματα του σοβά παραμένουν ίδια, ενώ τα τούβλα αλλάζουν διαστάσεις. Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει τη δομή των εξωτερικών τοίχων στις 4 περιπτώσεις που αναλύονται.

Πίνακας 5.7: Στρώματα εξωτερικών τοίχων για τις 4 περιπτώσεις

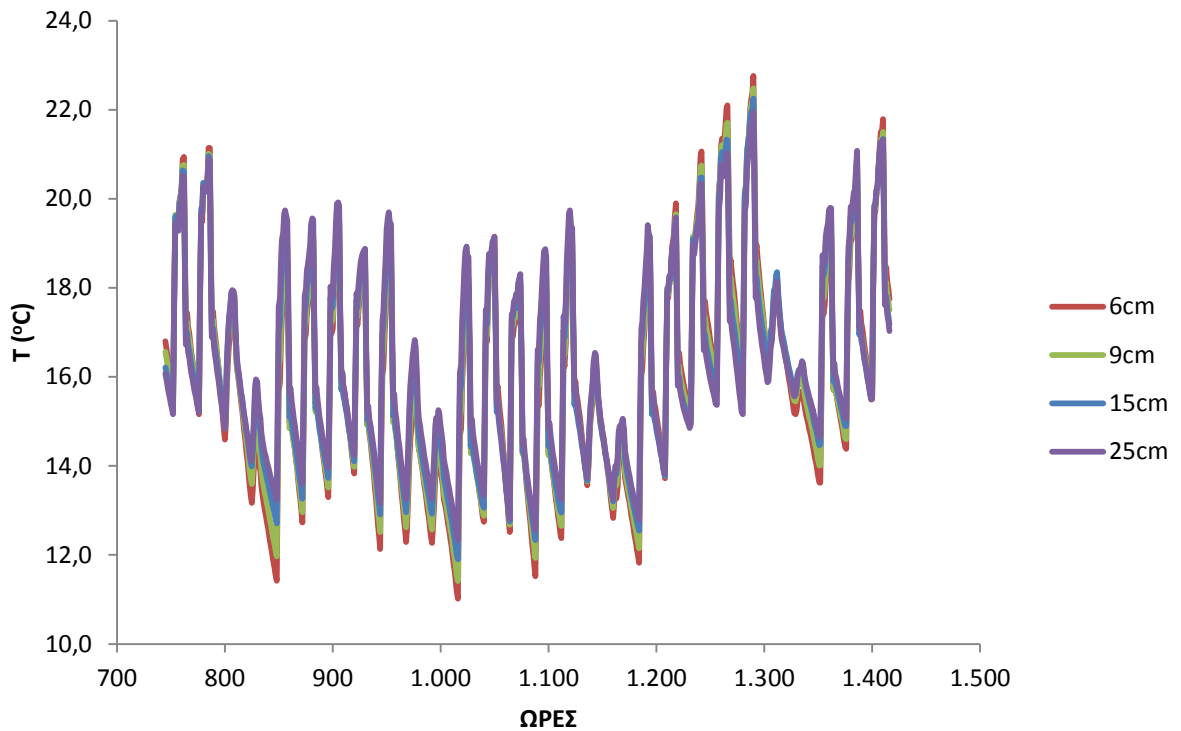
Περίπτωση	Σοβάς	Τούβλο	Μόνωση	Τούβλο	Σοβάς
1	1.5cm	6cm	6cm	6cm	1.5cm
2	1.5cm	9cm	6cm	9cm	1.5cm
3	1.5cm	15cm	6cm	15cm	1.5cm
4	1.5cm	25cm	6cm	25cm	1.5cm

Παρακάτω παρουσιάζονται τα προφίλ της εσωτερικής θερμοκρασίας για τις 4 περιπτώσεις που εξετάστηκαν. Πιο συγκεκριμένα, η ανάλυση έγινε για ολόκληρο το έτος και για αυτό τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ανά μήνα ώστε να γίνεται καλύτερα η σύγκριση.



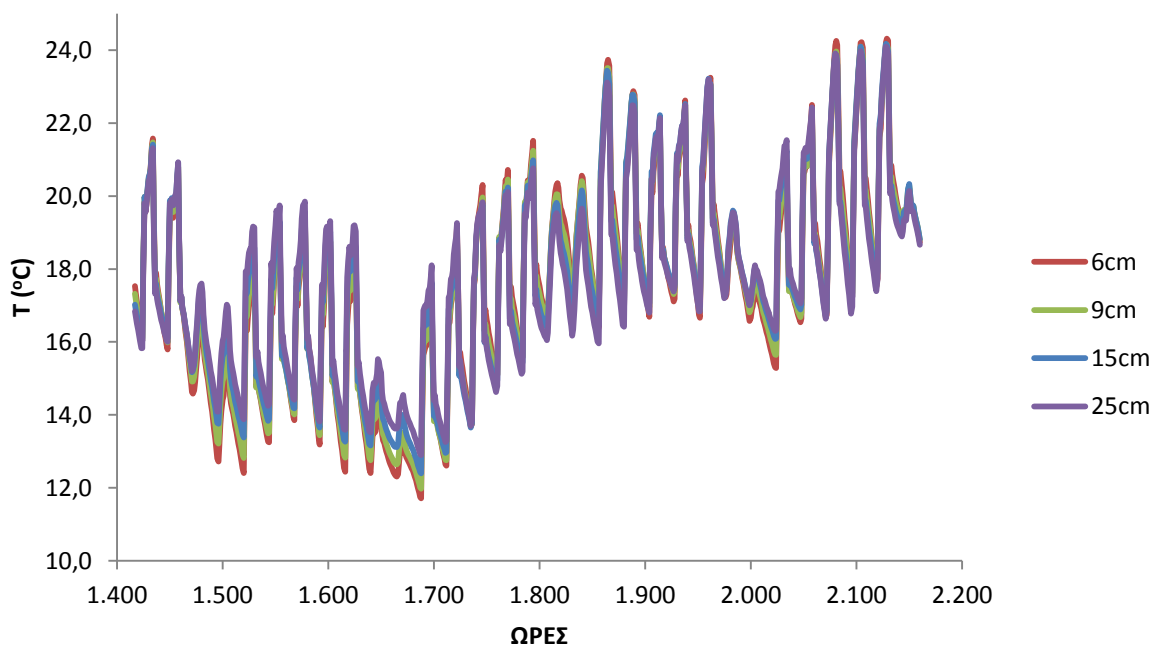
Εικόνα 5.26 Προφίλ θερμοκρασιών Ιανουαρίου

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι όταν το πάχος του τοίχου, δηλαδή του τούβλου, αυξάνει τότε η εσωτερική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη τον Ιανουάριο. Δηλαδή όταν αυξάνει η θερμική μάζα του κτιρίου το χειμώνα, η θερμική συμπεριφορά του κτιρίου βελτιώνεται.



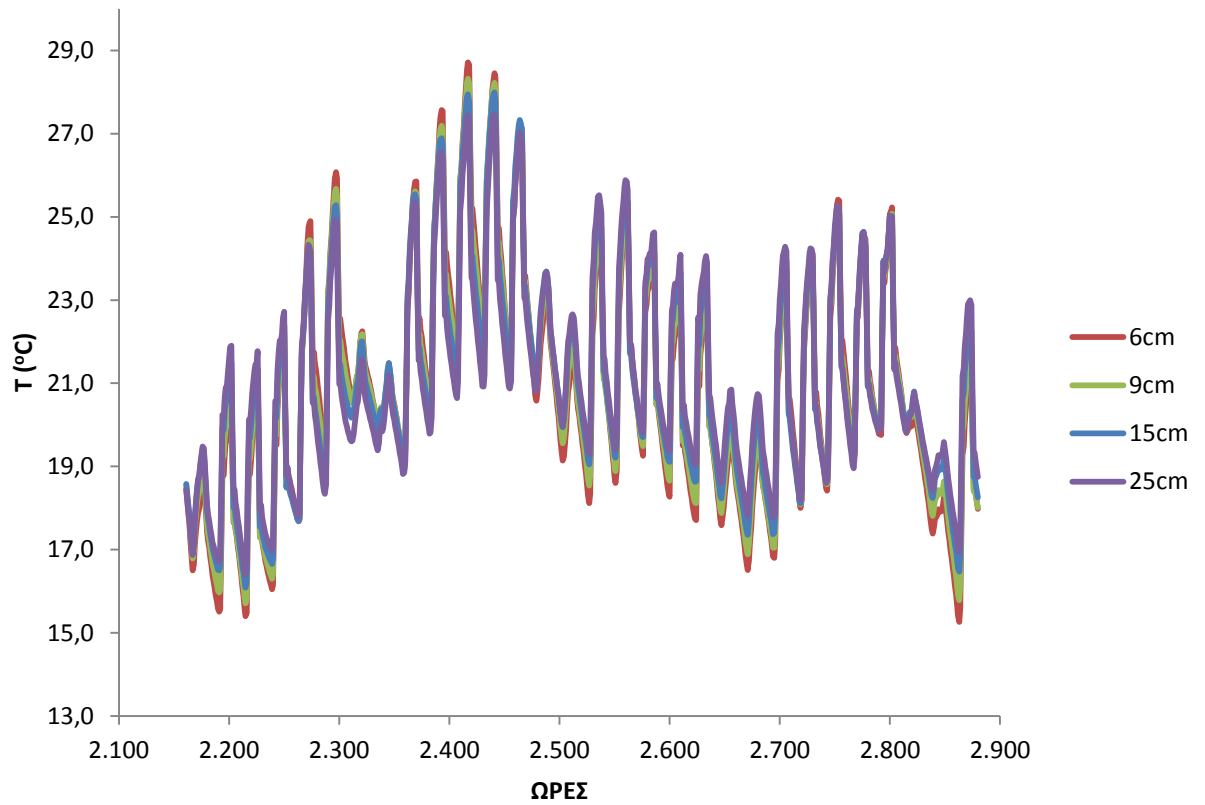
Εικόνα 5.27 Προφίλ θερμοκρασιών Φεβρουαρίου

Παρόμοια θερμική συμπεριφορά παρατηρείται και για τον μήνα Φεβρουάριο, όπου η εσωτερική θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια του είναι υψηλότερη στην περίπτωση του πάχους τούβλου 25 cm ενώ η μικρότερη στην περίπτωση του λεπτότερου τοίχου με πάχος τούβλου 6 cm.

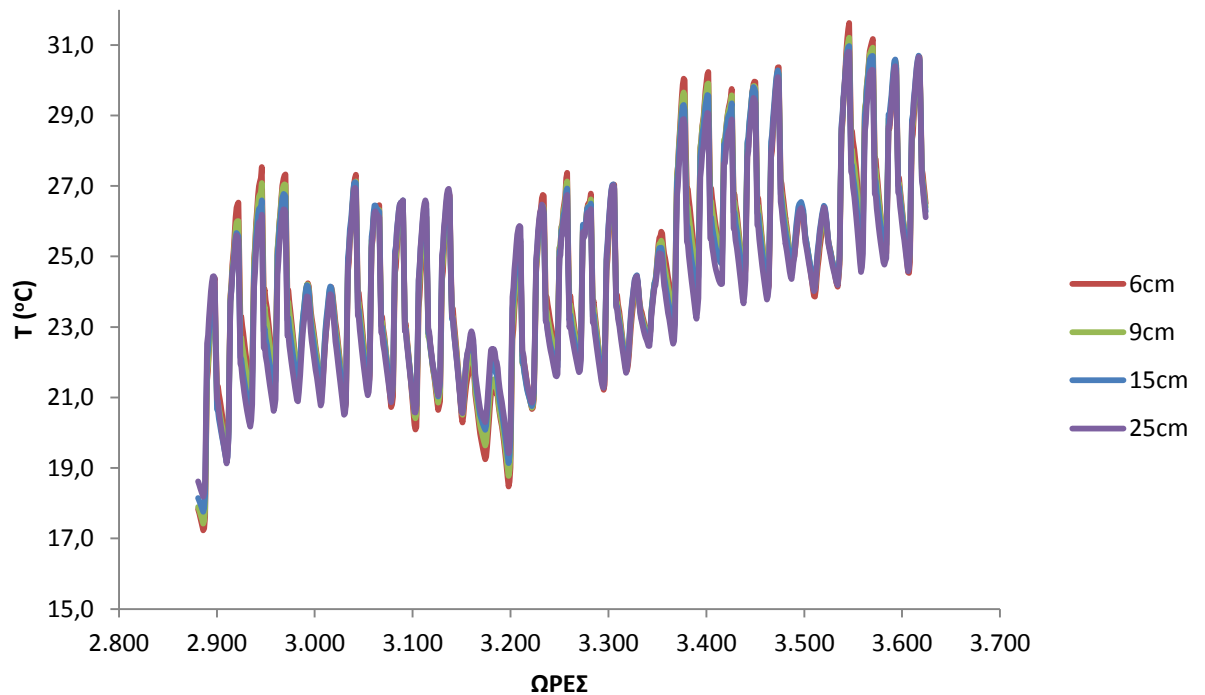


Εικόνα 5.28 Προφίλ θερμοκρασιών Μαρτίου

Στο θερμοκρασιακό προφίλ του Μαρτίου παρατηρείται η ίδια θερμική συμπεριφορά με τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο. Δηλαδή αυξημένη εσωτερική θερμοκρασία στην περίπτωση του μεγαλύτερου πάχους του τοίχου.

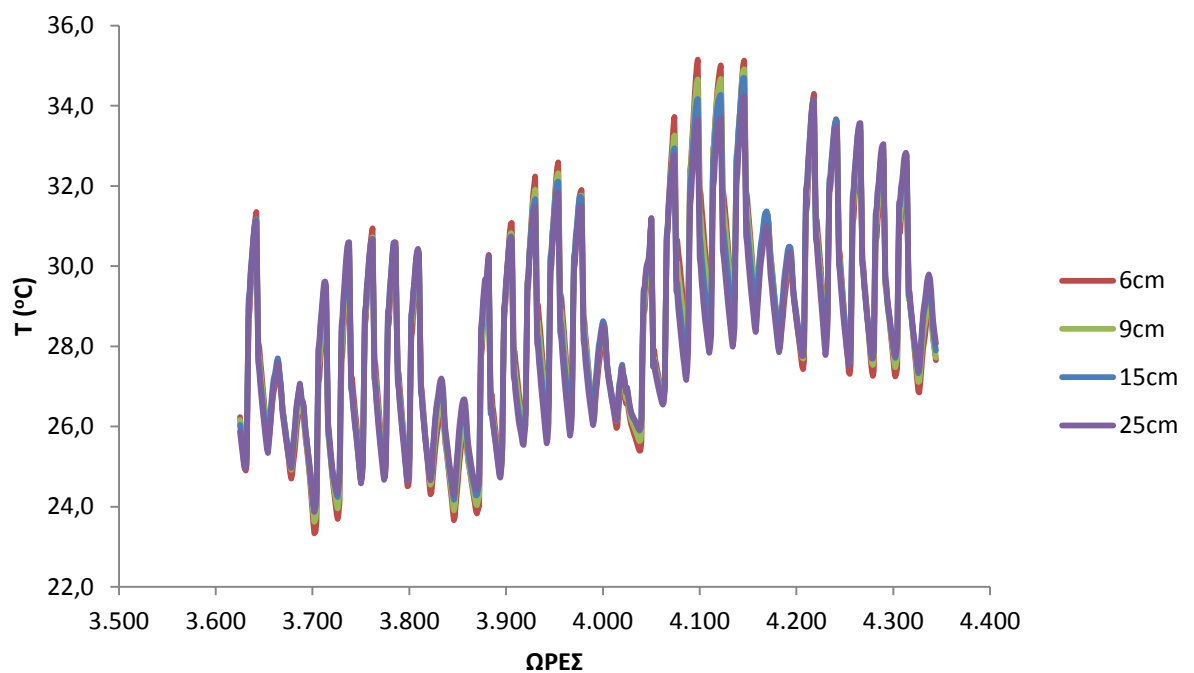


Εικόνα 5.29 Προφίλ θερμοκρασιών Απριλίου



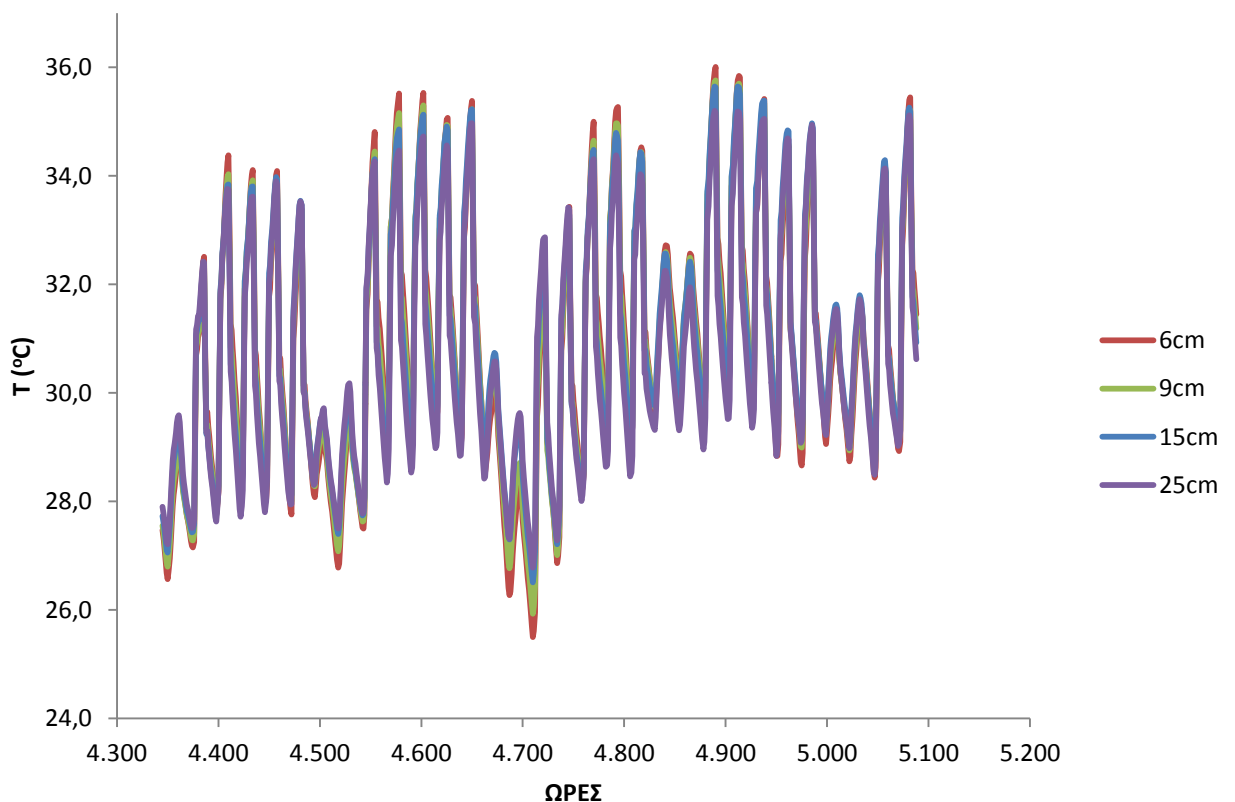
Εικόνα 5.30 Προφίλ θερμοκρασιών Μαΐου

Παρατηρείται ότι τους μήνες Μάιο και Απρίλιο η επίδραση της θερμικής μάζας είναι σχεδόν αμελητέα στη θερμική συμπεριφορά του κτιρίου. Αυτό συμβαίνει διότι τους μήνες αυτούς η εξωτερική θερμοκρασία συντελεί στη θερμική άνεση των χρηστών του κτιρίου χωρίς τη χρήση κλιματιστικών συσκευών.



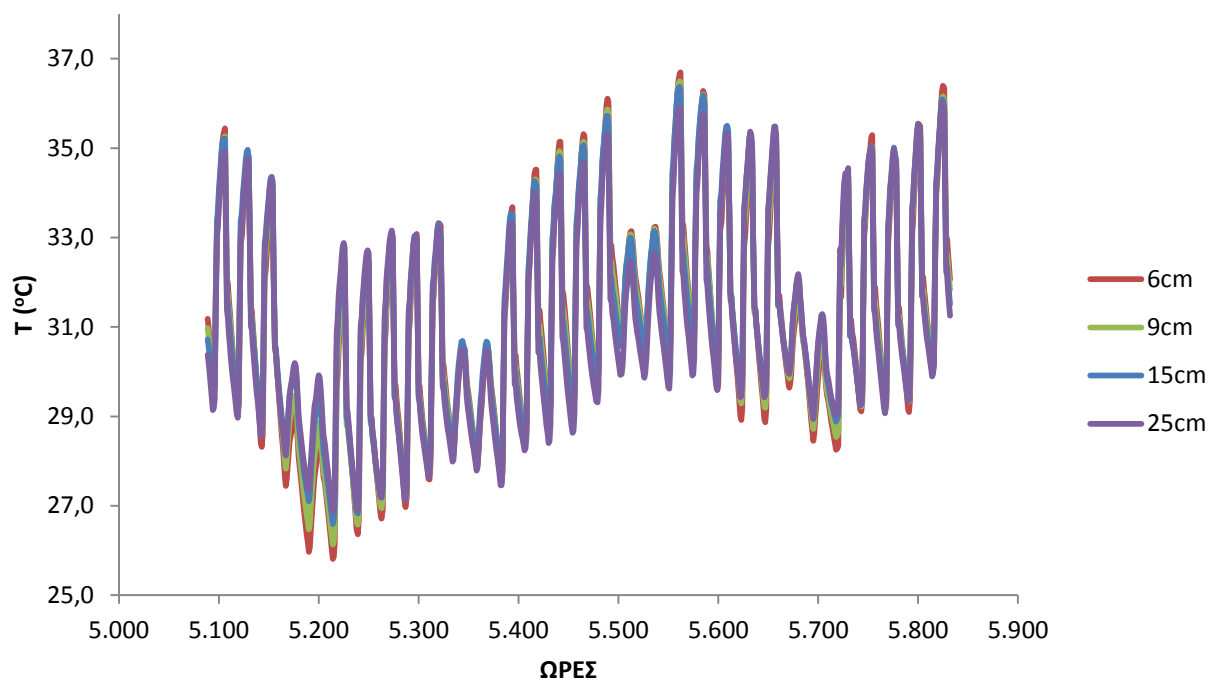
Εικόνα 5.31 Προφίλ θερμοκρασιών Ιουνίου

Εδώ παρατηρείται πως στην περίπτωση της τοιχοποιίας με το μικρότερο πάχος η εσωτερική θερμοκρασία παρουσιάζει μέγιστα και ελάχιστα. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι οι λεπτότεροι τοίχοι, δηλαδή αυτοί με τη μικρότερη θερμική μάζα, δεν αποθηκεύουν μεγάλα ποσά θερμότητας. Δηλαδή τις μεσημεριανές ώρες, της μεγάλης ηλιοφάνειας, αφήνουν τη θερμότητα να εισχωρήσει στο χώρο με αποτέλεσμα την υπερθέρμανση του. Τις βραδινές ώρες επιτρέπουν στην αποθηκευμένη εντός του κτιρίου θερμότητα να φύγει στο περιβάλλον. Έτσι δημιουργούνται μεγάλα ποσά θερμικών απωλειών και η εσωτερική θερμοκρασία μειώνεται αισθητά. Στην περίπτωση του τοίχου με τη μεγαλύτερη θερμική μάζα, παρατηρείται παρόμοια συμπεριφορά αλλά οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας είναι μικρότερες. Συμπέρασμα λογικό αφού οι τοίχοι με μεγάλη θερμική μάζα αποθηκεύουν θερμότητα τις μεσημεριανές ώρες, την οποία εκλύουν αργότερα μέσα στην μέρα εντός του κτιρίου, αποτρέποντας και τις μεγάλες θερμικές απώλειες τις βραδινές (ψυχρές) ώρες.



Εικόνα 5.32 Προφίλ θερμοκρασιών Ιουλίου

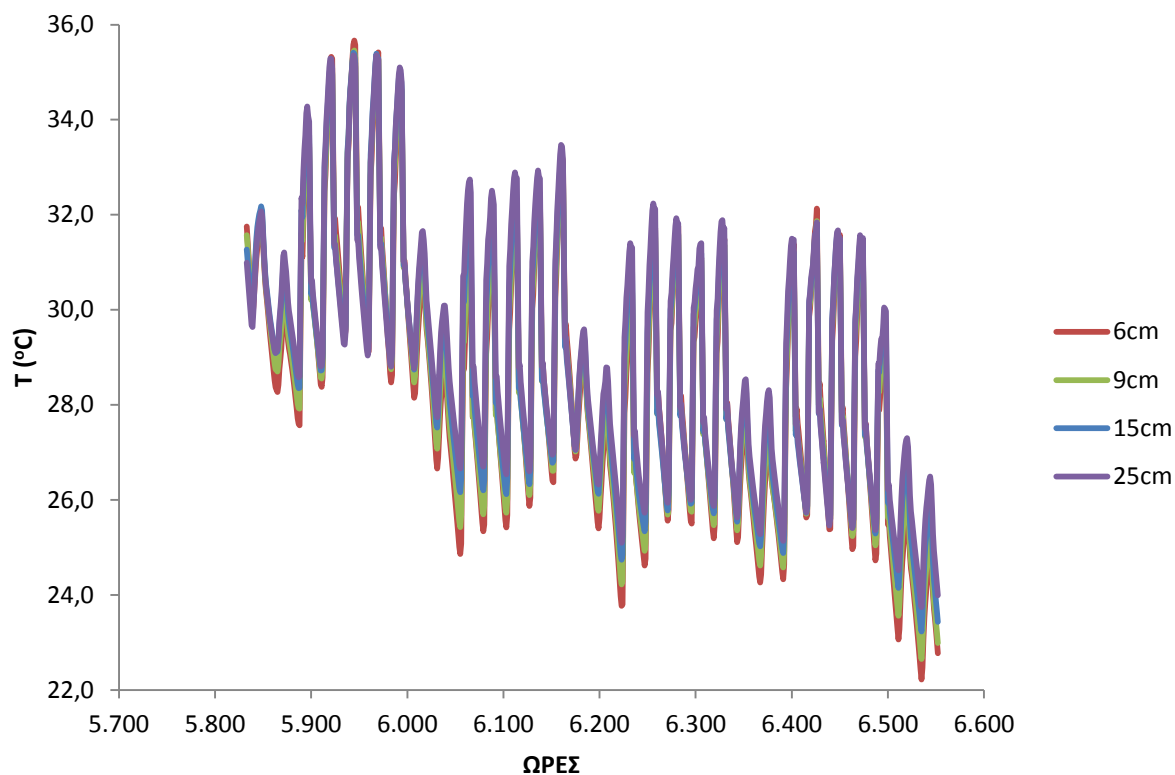
Παρόμοιο θερμοκρασιακό προφίλ με του Ιουνίου παρατηρείται και τον Ιούλιο. Δηλαδή η τοιχοποιία με την μικρότερη θερμική μάζα δίνει μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες εντός του μήνα, ενώ χρησιμοποιώντας τοίχους με μεγάλη θερμική μάζα η διακύμανση της θερμοκρασίας είναι σαφώς μικρότερη. Φαίνεται επίσης, πως ο Ιούλιος είναι πιο “ζεστός” από τον Ιούνιο, διότι η μέγιστη εσωτερική θερμοκρασία, ανεξαρτήτως τοιχοποιίας, φτάνει τους 36-37 °C πολλές φορές μέσα στο μήνα αυτό.



Εικόνα 5.33 Προφίλ θερμοκρασιών Αυγούστου

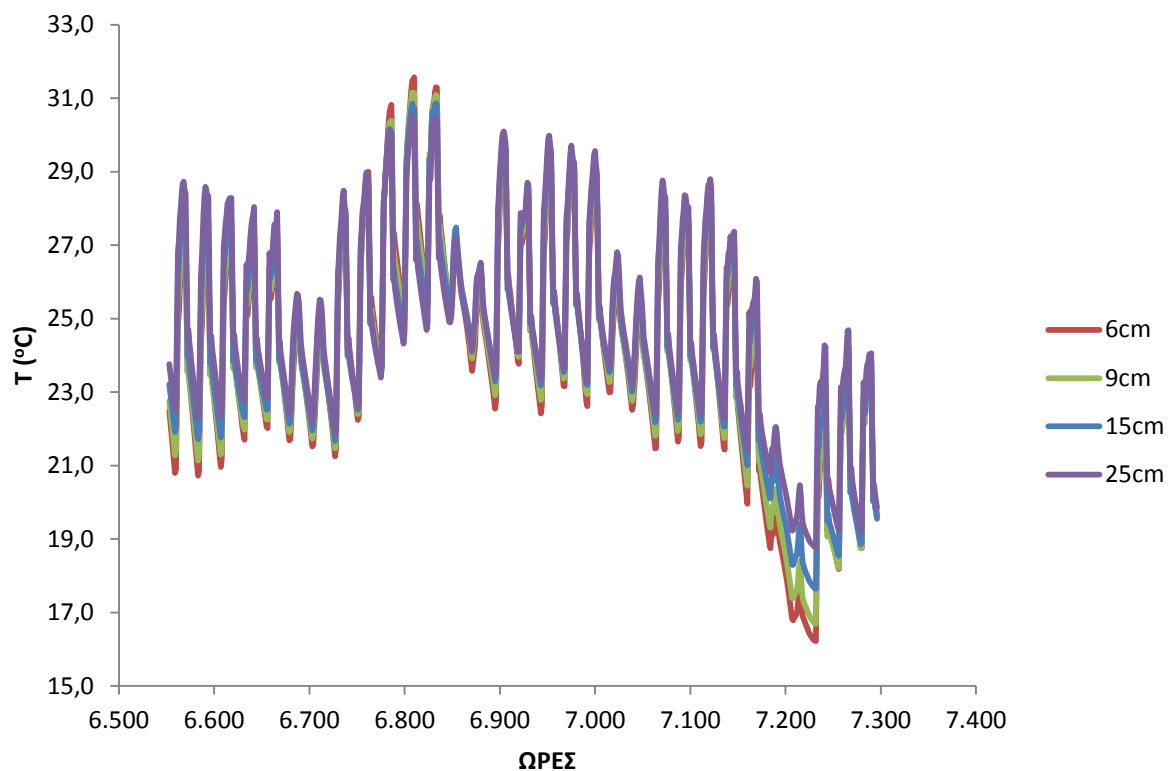
Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται το θερμοκρασιακό προφίλ για τις διάφορες τοιχοποιίες το μήνα Αύγουστο. Παρατηρείται όμοια συμπεριφορά με τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο, δηλαδή οι τοίχοι με μικρή θερμική μάζα επιτρέπουν την εισχώρηση θερμότητας τις μεσημεριανές ώρες και την φυγή της στο περιβάλλον τις βραδινές, ενώ αυτοί με τη μεγαλύτερη αποθηκεύουν θερμότητα και μειώνουν την διακύμανση της θερμοκρασίας του κτιρίου.

Συμπερασματικά, τους καλοκαιρινούς μήνες η αύξηση της θερμικής μάζας δεν συντελεί πάρα πολύ στη βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς διότι στόχος του ενεργειακού σχεδιασμού κτιρίων για αυτή την περίοδο είναι η μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας χωρίς μεγάλη χρήση κλιματιστικών συσκευών. Πιο συγκεκριμένα, το κτίριο με τη μεγάλη θερμική μάζα παρουσιάζει μικρότερα θερμοκρασιακά μέγιστα γεγονός που μειώνει το φορτίο κλιματισμού τις ώρες αιχμής.



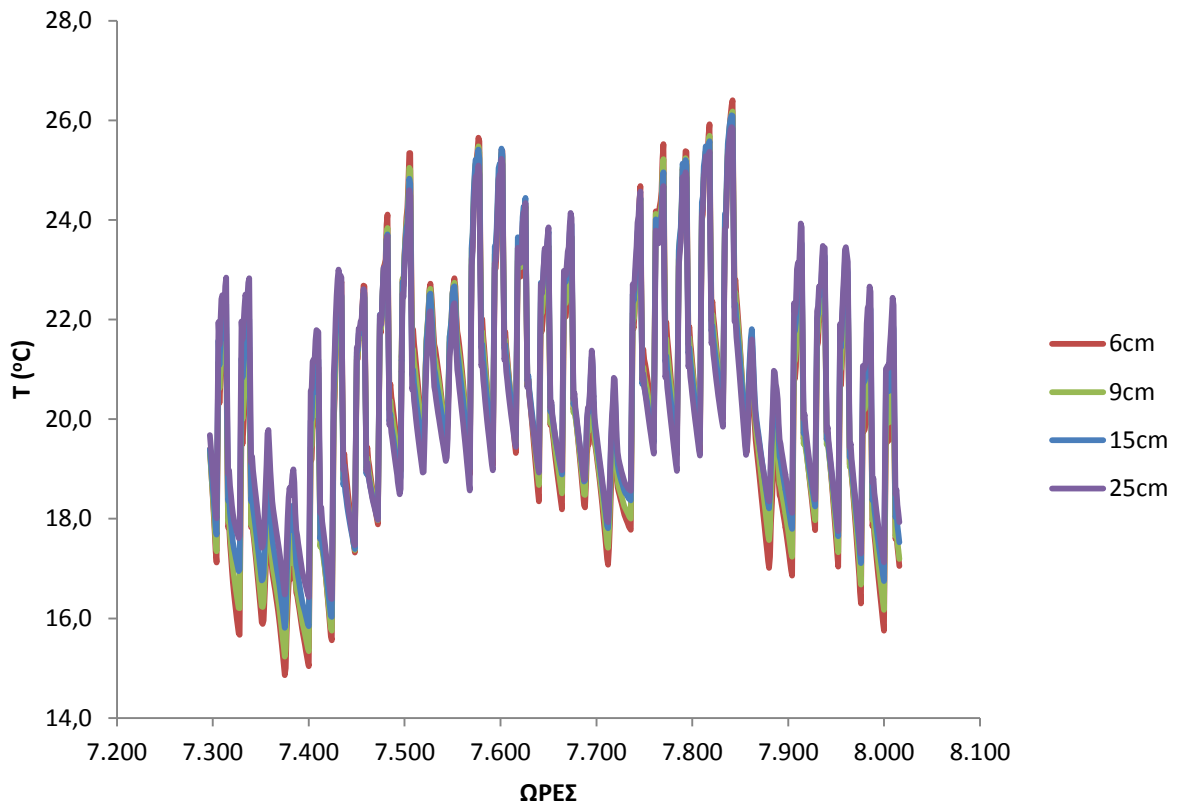
Εικόνα 5.34 Προφίλ θερμοκρασιών Σεπτεμβρίου

Το μήνα Σεπτέμβριο το κλίμα είναι ψυχρότερο και οι τοίχοι με μεγάλη θερμική μάζα σε γενικές γραμμές συμφέρουν. Βέβαια, είναι μήνας με αρκετά καλές συνθήκες οπότε όπως φαίνεται και από το διάγραμμά του, η αύξηση ή η μείωση της θερμικής μάζας δεν επηρεάζει πάρα πολύ το θερμοκρασιακό προφίλ.

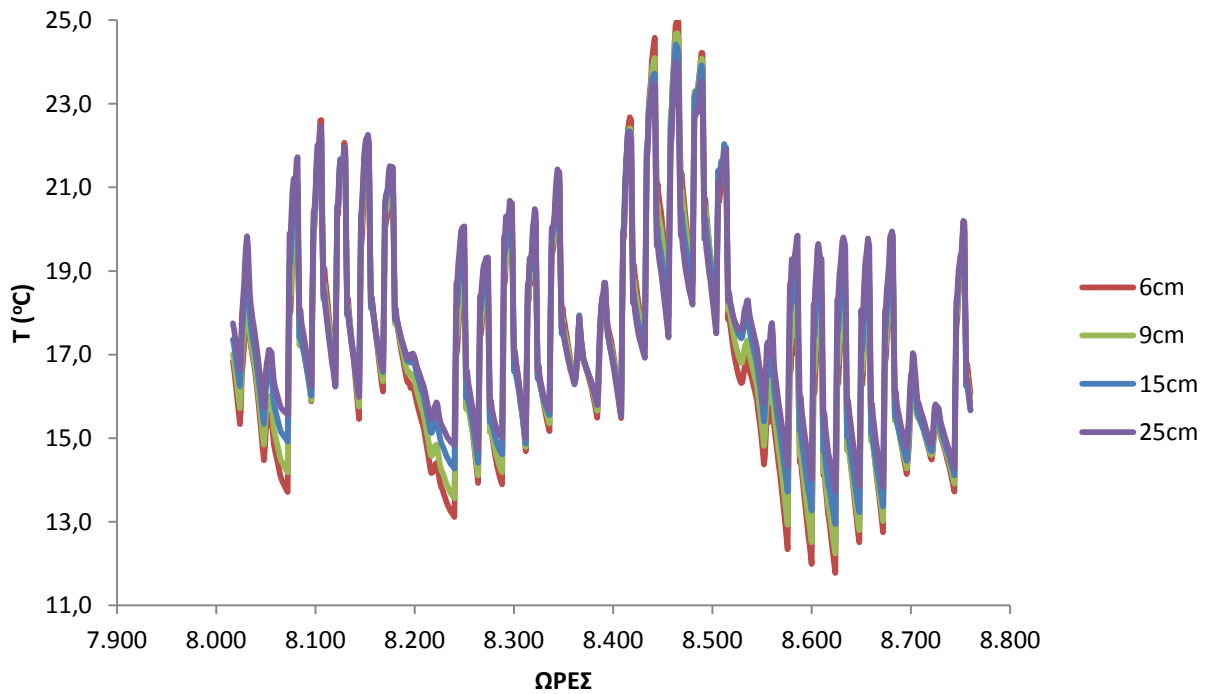


Εικόνα 5.35 Προφίλ θερμοκρασιών Οκτωβρίου

Ο Οκτώβριος είναι ένας μήνας που παρουσιάζει κρύες μέρες στις οποίες τα κτίρια με τη μεγαλύτερη θερμική μάζα πλεονεκτούν δίνοντας μεγαλύτερα θερμοκρασιακά ελάχιστα και συνεπώς μικρότερα φορτία θέρμανσης.

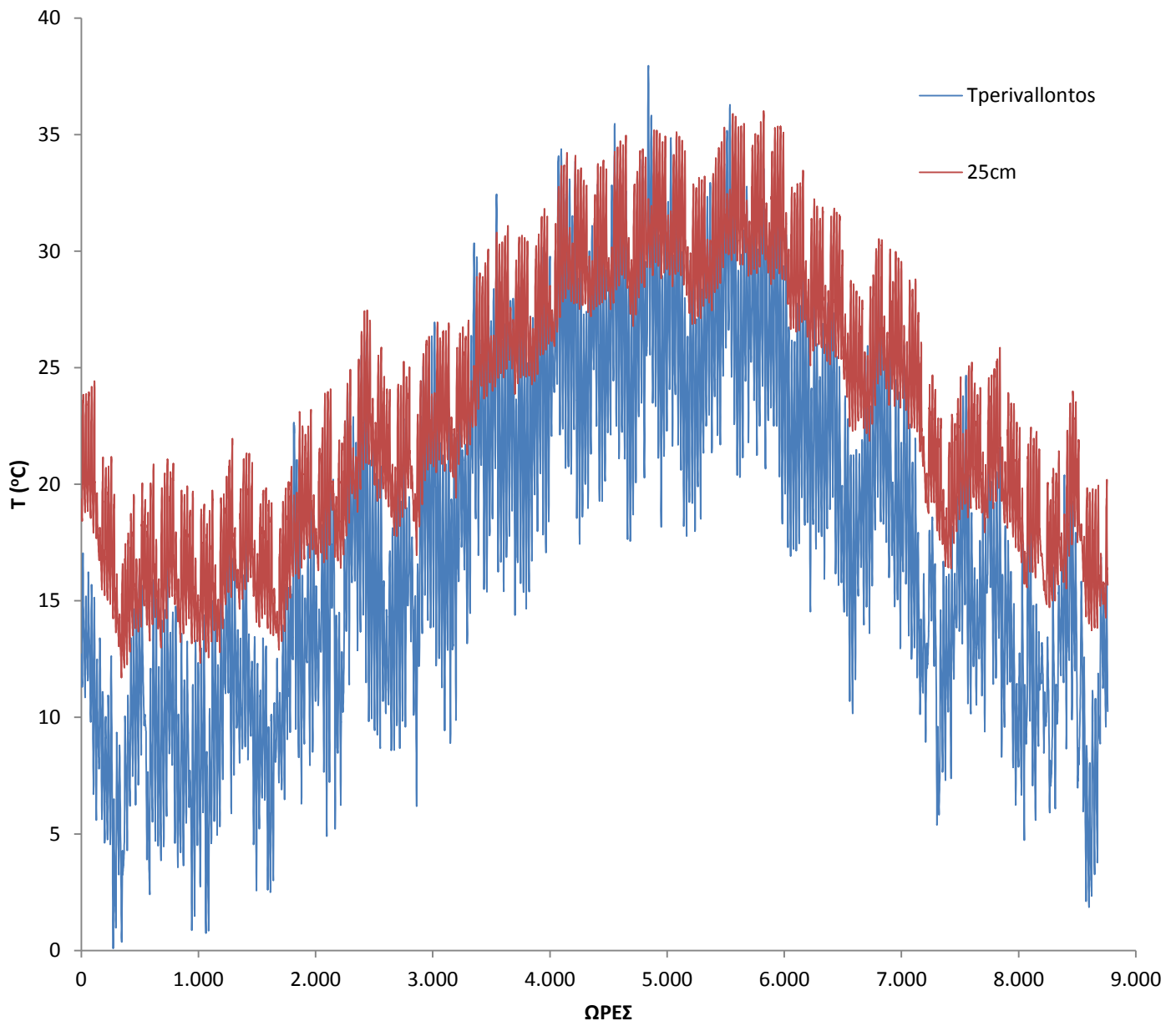


Εικόνα 5.36 Προφίλ θερμοκρασιών Νοεμβρίου



Εικόνα 5.37 Προφίλ θερμοκρασιών Δεκεμβρίου

Τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο παρατηρείται ότι τα κτίρια με μεγαλύτερη θερμική μάζα έχουν μικρότερη ημερήσια διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας γεγονός που αποδεικνύει πως η θερμική άνεση είναι καλύτερη στα κτίρια αυτά. Δηλαδή τους χειμερινούς μήνες τα κτίρια με μεγάλη θερμική μάζα πλεονεκτούν αυτών με μικρή, όσον αφορά τις συνθήκες διαβίωσης και την εξοικονόμηση ενέργειας.



Εικόνα 5.38 Θερμοκρασία περιβάλλοντος και θερμοκρασία κτιρίου με τη μέγιστη εξεταζόμενη θερμική μάζα

Στο διάγραμμα 5.36 με μπλε χρώμα είναι η ετήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος και με κόκκινο η εσωτερική θερμοκρασία για το κτίριο με τη μεγαλύτερη θερμική μάζα (πάχος τούβλου 25 cm). Η εσωτερική θερμοκρασία παρατηρείται πως είναι μεγαλύτερη της εξωτερικής, ειδικά τους χειμερινούς μήνες. Αυτό συμβαίνει διότι η ηλιακή ακτινοβολία αποθηκεύεται στα δομικά στοιχεία του κτιρίου, με αποτέλεσμα τη θέρμανση του εσωτερικού αέρα. Επίσης, φαίνεται ότι η ημερήσια διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας είναι αρκετά μικρότερη συγκριτικά με αυτή της εξωτερικής, γεγονός που συντελεί στη θερμική άνεση των χρηστών του κτιρίου.

5.7 Σύνοψη κεφαλαίου

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκαν οι προσομοιώσεις που έγιναν σε κτίρια ώστε να μελετηθεί η επίδραση της θερμικής μάζας στα φορτία του κτιρίου, καθώς και στο προφίλ της εσωτερικής θερμοκρασίας. Έτσι μελετήθηκαν κτίρια με διαφορετικό πάχος τοίχου και διαφορετική σύνθεση ώστε να γίνει κατανοητό ότι καθώς η θερμική μάζα αυξάνει, η εσωτερική θερμοκρασία έρχεται πιο κοντά στις επιθυμητές τιμές, προσφέροντας καλύτερη θερμική άνεση. Επίσης έγινε παραμετρική ανάλυση των φορτίων του κτιρίου συναρτήσει των υαλοπινάκων που φέρουν ώστε να βρεθεί η βέλτιστη λύση. Η ανάλυση αυτή πραγματοποιήθηκε για Ελλάδα και Σουηδία ώστε να μελετηθούν οι υαλοπίνακες για μία χώρα με μεγάλη ηλιοφάνεια και για μία με μικρή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Βασικά Συμπεράσματα εργασίας

Από το κεφάλαιο 5 που παρουσίασε τις περιπτώσεις κτιρίων και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, μπορούν να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα. Τα συμπεράσματα αυτά αφορούν κατά κύριο λόγο την επίδραση της θερμικής μάζας του κελύφους στα θερμικά και ψυκτικά φορτία και την χρησιμότητα της μόνωσης των τοίχων και των υαλοπινάκων στη θερμική συμπεριφορά των κτιρίων.

Ένα πρώτο συμπέρασμα είναι πως η θερμική μάζα αυξάνει όταν αυξάνεται το πάχος του τοίχου. Ανεξαρτήτως δηλαδή των υλικών της τοιχοποιίας, όσο περισσότερα υλικά τοποθετούνται στον τοίχο, τόσο μεγαλύτερη θερμική μάζα έχει αυτός. Αυτό το συμπέρασμα, εξάγεται αν παρατηρήσει κανείς και τον τύπο υπολογισμού της θερμικής μάζας που είναι το άθροισμα του γινομένου εμβαδού, πάχους και ειδικής θερμοχωρητικότητας κάθε στρώματος υλικού του τοίχου.

Αυτός ο τύπος υπολογισμού δίνει και ένα άλλο αναμενόμενο συμπέρασμα. Πως η θερμική μάζα αυξάνει με την αύξηση της θερμοχωρητικότητας των δομικών στοιχείων. Αυτό φάνηκε και από τις προσομοιώσεις που έγιναν στο 5^ο κεφάλαιο, όταν αλλάζοντας το c_p των διαφόρων υλικών διαφοροποιούνταν και η ολική θερμική μάζα του εκάστοτε τοίχου. Αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό συμπέρασμα, διότι αρκεί η χρήση υλικών μεγάλης ειδικής θερμοχωρητικότητας για την επιθυμητή αύξηση της θερμικής μάζας του κτιρίου, χωρίς να αυξάνεται αλόγιστα το πάχος των τοίχων. Η μεγάλη αύξηση του πάχους είναι οικονομικά ζημιόγωνα και παράλληλα δεν είναι εφικτή λόγω των χωροταξικών περιορισμών που υφίστανται.

Παράλληλα, από τα διαγράμματα του 5^{ου} κεφαλαίου παρατηρείται ότι τα κτίρια που προσομοιώθηκαν και είχαν αυξημένη θερμική μάζα, είχαν μειωμένα φορτία θέρμανσης και κλιματισμού. Συνεπώς, η αύξηση της θερμικής μάζας του κελύφους συντελεί στη μείωση της χρήσης κλιματιστικών συσκευών, άρα στην εξοικονόμηση ενέργειας που είναι και ο βασικός στόχος του ενεργειακού σχεδιασμού.

Όπως όμως διαπιστώθηκε από τις προσομοιώσεις του προηγούμενου κεφαλαίου, η συνεχής αύξηση του πάχους επιδρά θετικά στη μείωση των θερμικών και ψυκτικών φορτίων έως ένα σημείο και μετά είναι αμελητέα. Υπάρχει δηλαδή, ανάλογα με την περίπτωση, **ένα κρίσιμο πάχος** τοίχου όπου η θερμική μάζα δεν μεταβάλλει περαιτέρω τα φορτία.

Ακόμη, ένα άλλο σημαντικό συμπέρασμα των προσομοιώσεων που προηγήθηκαν είναι πως η θερμική μάζα του κτιριακού κελύφους επηρεάζει περισσότερο τα φορτία θέρμανσης του εκάστοτε κτιρίου και λιγότερο της ψύξης. Αυτό διαπιστώνεται εύκολα αν παρατηρήσει κανείς τα διαγράμματα φορτίων- θερμικής μάζας όπου η κλίση των θερμικών φορτίων είναι μεγαλύτερη.

Επίσης, φαίνεται ξεκάθαρα ότι η μονωμένοι τοίχοι μειώνουν σημαντικά τα φορτία θέρμανσης. Άρα, είναι απαραίτητη η χρήση μονωτικών υλικών στα κελύφη για την επίτευξη του στόχου της μείωσης των θερμικών φορτίων την περίοδο του χειμώνα.

Επιπρόσθετα, από τις προσομοιώσεις κτιρίων που έγιναν, φαίνεται ότι η ύπαρξη μόνωσης είναι εν γένει σημαντικότερη από τη ποσότητα θερμικής μάζας του τοίχου. Αυτό σημαίνει ότι μια στρώση μόνωσης είναι αποδοτικότερη για την θερμική συμπεριφορά του κτιρίου σε σχέση με μία επιπλέον στρώση τούβλων στον τοίχο.

Οι εσωτερικοί τοίχοι αυξάνουν τη συνολική θερμική μάζα του κτιρίου, με άμεση συνέπεια τη μείωση των θερμικών και ψυκτικών φορτίων. Επίσης μειώνει την ημερήσια εσωτερική διακύμανση της θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα τη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης για τους χρήστες του κτιρίου.

Η ύπαρξη υαλοπινάκων επιδρά θετικά το χειμώνα μειώνοντας τα θερμικά φορτία, αφού εκμεταλλεύεται τις μέρες ηλιοφάνειας του χειμώνα, επιτρέποντας στην ηλιακή ακτινοβολία να εισχωρήσει εντός του κτιρίου. Όμως, οι υαλοπίνακες τους καλοκαιρινούς μήνες αυξάνουν τα φορτία κλιματισμού διότι η έντονη ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται εύκολα εντός του κτιρίου, σε χώρες με θερμά κλίματα όπως η Ελλάδα. Από την άλλη πλευρά, η επίδραση των υαλοπινάκων σε χώρες με ψυχρό κλίμα, όπως η Σουηδία που μελετήθηκε, είναι ουδέτερη διότι η ηλιοφάνεια είναι πολύ περιορισμένη. Ακόμη, σε χώρες όπως η Σουηδία με πολύ ψυχρό κλίμα, σχεδόν δεν υφίστανται φορτία ψύξης και το μεγαλύτερο ποσοστό καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας αφορά τη θέρμανση. Στη συνέχεια, από την όλη ανάλυση υπολογίστηκε πως το βέλτιστο ποσοστό υαλοπινάκων αντιστοιχεί σε 10% επί της συνολικής εξωτερικής επιφάνειας αν κατανεμηθεί το μισό στο νότο και από 25% σε ανατολική και δυτική κατεύθυνση. Έτσι 12m² υαλοπινάκων είναι το βέλτιστο για 120m².

Στο τελευταίο κομμάτι αυτής της εργασίας, έγινε δοκιμή διαφορετικών τούβλων στους εξωτερικούς τοίχους του τυπικού κτιρίου που εξετάζεται, ώστε σε κάθε περίπτωση να αλλάζει η θερμική μάζα του κτιρίου. Έτσι έγινε ανάλυση για διάφορα πάχη τούβλου και στο τέλος υπολογίστηκε η εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου ετησίως και αποδείχτηκε πως το κτίριο με τη μεγαλύτερη θερμική μάζα έχει καλύτερη θερμική συμπεριφορά και ιδιαίτερα το χειμώνα προσφέρει αρκετά καλύτερη θερμική άνεση στους χρήστες.

Τελικά, η αύξηση της θερμικής μάζας του κτιριακού κελύφους είναι πολύ σημαντικό μέγεθος για το σχεδιασμό των κτιρίων. Όπως φάνηκε από τις προσομοιώσεις που προηγήθηκαν συντελεί σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις στην επίτευξη θερμικής άνεσης και στη μείωση των φορτίων θέρμανσης και κλιματισμού. Επίσης, τα υλικά μόνωσης διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη θερμική αντίσταση διότι έχουν μικρή αγωγιμότητα σε σχέση με υλικά όπως το τούβλο, το τσιμέντο κλπ. Τέλος, η ύπαρξη υαλοπινάκων είναι καθοριστική για τα φορτία ιδιαίτερα σε χώρες με ζεστό κλίμα όπως η Ελλάδα.

6.2 Μελλοντική έρευνα

Το ζήτημα της αύξησης της θερμοχωρητικότητας και κατ' επέκταση της θερμικής μάζας όπως αποδείχθηκε από την παραπάνω ανάλυση είναι πολύ σημαντικό για την ενεργειακή κατάσταση των κτιρίων, τα οποία είναι βασικός καταναλωτής της συνολικά παραγόμενης ενέργειας κάθε χώρας. Η ανάλυση που παρουσιάστηκε στο 5^ο κεφάλαιο οδήγησε σε πολύ χρήσιμα συμπεράσματα καθώς και σε σκέψεις για περαιτέρω αναλύσεις και προσομοιώσεις για το συγκεκριμένο ζήτημα. Για μελλοντική έρευνα προτείνεται αρχικά η προσομοίωση κτιρίων με πολυπλοκότερη τοιχοποιία. Για παράδειγμα, κτίριο που θα αποτελείται από περισσότερους ορόφους και θα περιέχει πάνω από έναν εσωτερικό τοίχο. Επίσης, η έρευνα μπορεί να γίνει και σε άλλα τελείως διαφορετικά κλίματα και να γίνουν αντίστοιχες συγκρίσεις με την πόλη της Αθήνας.

Επίσης, είναι δυνατόν η μελέτη αυτή να πραγματοποιηθεί με επιπλέον παραμέτρους οι οποίες μπορούν να εισαχθούν στο λογισμικό TRNSYS. Έτσι μπορεί να μελετηθεί ένα κτίριο διαφορετικής δομής, με σκίαση, εξαερισμό (μηχανικό και φυσικό), με διαφορετικά εσωτερικά φορτία (από ανθρώπους και συσκευές) καθώς και διαφορετικά φορτία φωτισμού. Μπορεί ακόμα να γίνει μελέτη για κτίριο με συγκεκριμένο ωράριο λειτουργίας (π.χ. ώρες γραφείου) όπου τα φορτία της ημέρας είναι αυτά που επηρεάζουν την προσομοίωση.

Παράλληλα, το λογισμικό TRNSYS δίνει πολλές δυνατότητες στους μελετητές. Για παράδειγμα, στις προσομοιώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν ηλιακοί συλλέκτες για κλιματισμό και θέρμανση και να μελετηθούν συνδυαστικά με τη θερμική μάζα του κτιρίου για να διαπιστωθεί πως επιδρούν οι συλλέκτες στα φορτία των κτιρίων και να βρεθεί ένας βέλτιστος συνδυασμός τους. Ακόμη, η θερμοχωρητικότητα του κελύφους μπορεί να αυξηθεί και με τη χρήση υλικών αλλαγής φάσης που αναφέρθηκαν επιγραμματικά στο 3^ο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής. Έτσι, σε μία μελλοντική έρευνα μπορεί να μελετηθεί ο συνδυασμός υλικών αλλαγής φάσης μαζί με δομικά στοιχεία μεγάλης θερμικής μάζας για τη δραστική μείωση θερμικών και ψυκτικών φορτίων.

Τέλος, εκτός από την ενεργειακή ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, μια οικονομική αξιολόγηση της χρήσης δομικών στοιχείων για μείωση των καταναλώσεων είναι αναγκαία. Έτσι μπορεί να υπάρξει ξεκάθαρο συμπέρασμα για το κατά πόσον συμφέρει η επένδυση στο κτιριακό κέλυφος με στόχο την μείωση των καταναλώσεων μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] www.ypeka.gr

[2] Εκπαιδευτικό υλικό του ΤΕΕ για τους Ενεργειακούς Επιθεωρητές, Τεύχος 1, ΙΕΚΕΜ ΤΕΕ, Αθήνα 2012

[3] Εκπαιδευτικό υλικό του ΤΕΕ για τους Ενεργειακούς Επιθεωρητές, Τεύχος 2, ΙΕΚΕΜ ΤΕΕ, Αθήνα 2012

[4] Εκπαιδευτικό υλικό του ΤΕΕ για τους Ενεργειακούς Επιθεωρητές, Τεύχος 4, ΙΕΚΕΜ ΤΕΕ, Αθήνα 2012

[5] Οδηγός για εξοικονόμηση ενέργειας στις κατοικίες, Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Αθήνα 2001

[6] Γενικές αρχές Βιοκλιματικού σχεδιασμού, Κλειώ Ν. Αζαρή, Θεσσαλονίκη Μάρτιος 2009

[7] www.buildings.gr/greek/aiforos/exikonomisi,_ Ματθαίος Σανταμούρης

[8] Επιρροή της θερμοχωρητικότητας του κελύφους στην ενεργειακή συμπεριφορά κτιρίων γραφείου, Ευάγγελος Γιαρμάς, 2013

[9] Αρχές Μεταφοράς Θερμότητας και Μάζης, Ξενοφών Κακάτσιος

[10] Σύγχρονη Τεχνική Ατζέντα, Γιάννης Βελαώρας

[11] www.kotsovolos.gr/site/air-condition-heaters/air-condition/7.000-to-15.000-btu

[12] Μελέτη υβριδικού συστήματος για ψύξη κτιρίων με απορρόφηση με χρήση του λογισμικού TRNSYS, Καλογεράκης Κωσταντίνος, Αθήνα 2009

[13] Προσομοίωση με τη βοήθεια του λογισμικού TRNSYS, ηλιακού συστήματος θέρμανσης και ψύξης με απορρόφηση, Καραμαρίας Μικές, 2012

[14] Zeng, R., Wang, x., Di, H., Jiang, F. and Zhang, Y. (2011), "New concepts and approach for developing energy efficient buildings: Ideal specific heat for building internal thermal mass", *Energy and Buildings*, Vol 43, pp. 1081–1090.

[15] Al-Sanea, S.A., Zedan, M.F., Al-Hussain, S.N. (2012), "Effect of thermal mass on performance of insulated building walls and the concept of energy savings potential", *Applied Energy*, Vol 89, p.p. 430–442.

- [16] Zhang, Y., Lin, K., Zhang, Q. and Di, H. (2006), "Ideal thermophysical properties for free-cooling (or heating) buildings with constant thermal physical property material", *Energy and Buildings*, Vol 38, p.p. 1164–1170.
- [17] Jeanjean, A., Olives, R., Py, X. (2013), "Selection criteria of thermal mass materials for low-energy building construction applied to conventional and alternative materials", *Energy and Buildings*, Vol 63, p.p. 36–48.
- [18] Koroneos, C., Nanaki, E., Xydis, G., "Solar Air-conditioning Systems Impact on the Built Environment – A Thermodynamic Approach", In *Proceedings of the 45th ISOCARP Congress Solar Air-conditioning Systems Impact on the Built Environment – A Thermodynamic Approach*, 2009, pp. 1-16.
- [19] Soutsos, T., Anagnostou, J., Pritchard, C., Karagiorgas, M. and Agoris, D. (2003) "Solar cooling technologies in Greece. An economic viability analysis", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 23, p.p. 1427-1439.
- [20] Balaras, C.A. (1996), "The role of thermal mass on the cooling load of buildings. An overview of computational methods", *Energy and Buildings*, Vol 24, p.p. 1-10.
- [21] Zaki, G.M., Hassan, K. (1986) "Thermal Performance of Composite Building Components with Periodic Solar Insolation and Ambient Temperature", *Solar & Wind Technology*, Vol. 3, p.p. 103-109.
- [22] Kossecka, E. and Kosny, J., (1998), "Effect of Insulation and Mass Distribution in Exterior Walls on the Dynamic Thermal Performance of a Whole Buildings" - DOE, ASHRAE, ORNL Conference - Thermal Envelopes VII., Dec
- [23] Kossecka E., Kosny, J., (2001), "Influence of Insulation Configuration on Heating and Cooling Loads in a Continuously Used Building.", DOE, ASHRAE, ORNL Conference—Thermal Envelopes VIII, Clear Water, Florida, Dec
- [24] Yam, J., Li, Y. and Zheng, Z., (2003) "Nonlinear coupling between thermal mass and natural ventilation in buildings", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol 46, p.p. 1251-1264
- [25] P.T.Tsilingiris,(2007) "The Influence of Binary Mixture Thermophysical Properties in the Analysis of Heat and Mass Transfer Processes in Solar Distillation Systems", *SOLAR ENERGY*, Vol 81,p.p. 1482-1491
- [26] P. Ma., Wang, L.S., (2012), "Effective heat capacity of interior planar thermal mass (IPTM) subject to periodic heating and cooling", *Energy and Buildings*, Vol 47, p.p. 44–52