



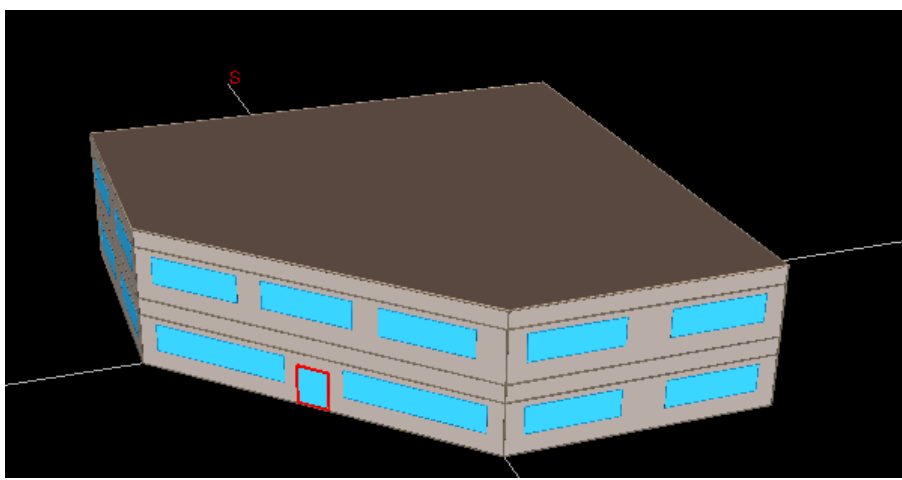
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

**ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ eQUEST - ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ
ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ
ΗΝΑC ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΑΛΙΣΙΑΝΟΥ ΜΑΡΙΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: ΚΟΡΩΝΑΚΗ ΕΙΡΗΝΗ, ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΕΜΠ



ΙΟΥΛΙΟΣ 2018



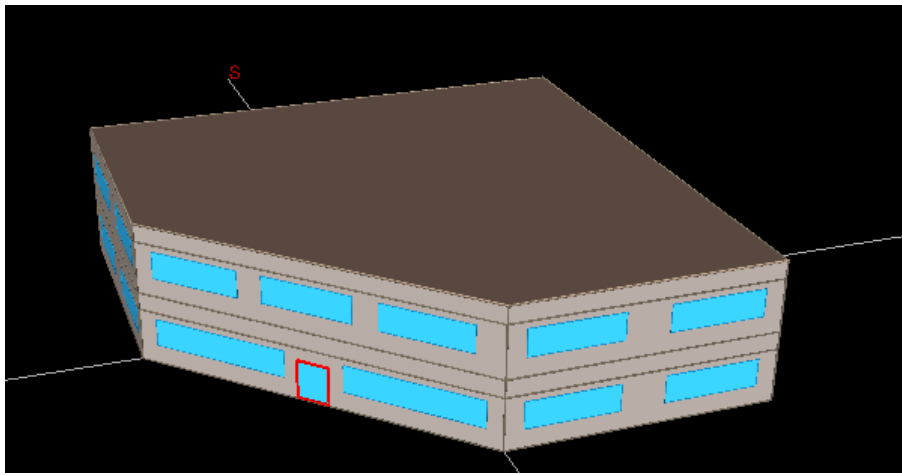
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING
SECTION OF THERMAL ENGINEERING

**ENERGY MODELLING USING eQUEST -
INVESTIGATION OF PARAMETERS IMPACTING
HVAC SYSTEM ENERGY CONSUMPTION**

DIPLOMA THESIS

MALISIANOU MARIA

SUPERVISOR: KORONAKI IRENE, ASS. PROFESSOR NTUA



JULY 2018

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του ΕΜΠ και επιβλέπουσα της διπλωματικής μου εργασίας, κυρία Κορωνάκη Ειρήνη για την ανάθεση ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος αλλά και για την υποστήριξη και την καθοδήγηση της κατά τη διάρκεια εκπόνησής του. Κυρίως όμως θα ήθελα πραγματικά να την ευχαριστήσω για την κατανόηση και την προθυμία της να βοηθήσει με κάθε τρόπο, ώστε να ολοκληρωθεί επιτυχώς η παρούσα διπλωματική.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους στάθηκαν αρωγοί, κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου στη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων αποτελεί σημαντικό ποσοστό της συνολικής παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Μάλιστα το 1/3 περίπου απαιτείται μόνο για την λειτουργία του συστήματος HVAC (Heating Ventilation Air Conditioning).

Στην παρούσα διπλωματική επιδιώκεται να διερευνηθεί η επίπτωση στην ενεργειακή κατανάλωση, παραμέτρων όπως η θερμική μόνωση κελύφους, ο προσανατολισμός του κτιρίου και το είδος συστήματος HVAC.

Γι αυτό το σκοπό έγινε αρχικά μία βιβλιογραφική ανασκόπηση των υπαρχουσών μελετών και στη συνέχεια προσομοιώθηκε και μελετήθηκε ένα υποθετικό κτίριο γραφείων, με χρήση του προγράμματος eQuest και εξετάστηκε η επίδραση των αναφερθέντων παραμέτρων.

ABSTRACT

Building energy consumption plays a crucial role in total energy consumption globally. More specific, energy consumption for HVAC (Heating Ventilation Air Conditioning) is responsible for a large share (approximately one third) of energy use in residential and commercial buildings.

This work aims to review the impact of different parameters, such as building orientation, thickness insulation and type of HVAC system, on energy consumed by HVAC system and explore the energy saving potentials.

Firstly, theoretical work and literature review was conducted, in order to obtain a solid background on the existing studies. Then, a typical office building was simulated with different scenarios, using eQuest software in order to ascertain the effects of these parameters to cooling and thermal annual energy consumption.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	II
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	6
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Εισαγωγικές πληροφορίες – Ενεργειακή Κατανάλωση και Παραγωγή CO ₂	1
1.2 Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας	7
1.3 Περιεχόμενα - Δομή Διπλωματικής Εργασίας.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΥΠΑΡΧΟΥΣΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ.....	9
2.1 Γενικά.....	9
2.2 Αξιοπιστία ενεργειακών μοντέλων	9
2.3 Επίδραση προσανατολισμού	19
2.4 Επίδραση μόνωσης κελύφους.....	25
2.5 Συμπεράσματα.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:.....	41
3.1 Γενικά	41
3.2 Κανονισμός θερμομόνωσης κτιρίων (ΚΘΚ, 1980)	41
3.3 Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (ΤΟΤΕΕ, 20701-2/2010).....	44
3.4 Επιμέρους τμήματα του συστήματος ψύξης-θέρμανσης (HVAC).....	46

3.5 Συμπεράσματα	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ eQUEST – ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	58
4.1 Γενικά	58
4.2 Λογισμικό eQuest	58
4.3 Γενικά στοιχεία Κτιρίου	61
4.4 Συμπεράσματα	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ HVAC	70
5.1 Γενικά	70
5.2 Επίδραση διαφορετικών προδιαγραφών θερμομόνωσης (ΚΘΚ – ΤΟΤΕΕ 2010)	70
5.2 Επίδραση προσανατολισμού του κτιρίου	76
5.4 Επίδραση πάχους μόνωσης εξωτερικής τοιχοποιίας	78
5.5 Επίδραση τύπου συστήματος HVAC	81
5.6 Συμπεράσματα	96
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	98
6.1 Τελικά συμπεράσματα	98
6.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	100
ΕΝΤΥΠΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	103
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	107

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγικές πληροφορίες – Ενεργειακή Κατανάλωση και Παραγωγή CO₂

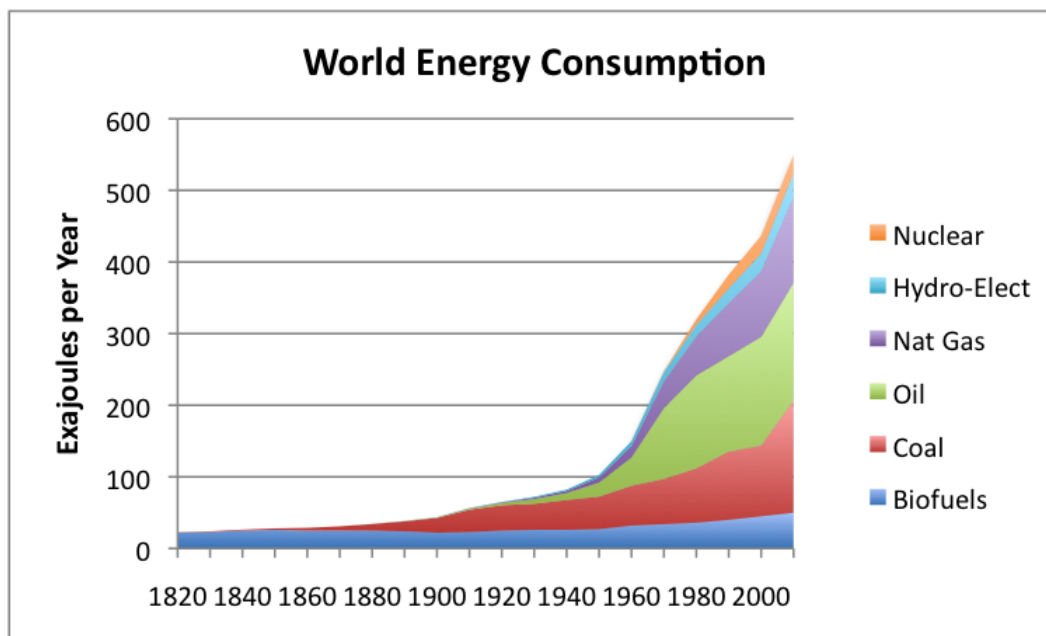
Ο 20^{ος} αιώνας χαρακτηρίζεται από μία τεράστια αύξηση στην ενεργειακή κατανάλωση, η οποία κατέστη εφικτή με την ανακάλυψη των διαθέσιμων αποθεμάτων ορυκτών πόρων.

Πριν το 1850, σχεδόν όλη η ενέργεια που καταναλωνόταν από τους ανθρώπους προερχόταν από βιοκαύσιμα και πιο συγκεκριμένα υλικά όπως το ξύλο, τα ζωικά λίπη κλπ. Ενώ αυτές οι πηγές ενέργειας ήταν άφθονες ως ποσότητα στη φύση, η διαδικασία απόκτησή τους, επεξεργασίας τους και μεταφοράς τους στον τελικό καταναλωτή ήταν μία επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία, και ως εκ τούτου δεν υπήρχαν περιθώρια για συστηματικότερη εκμετάλλευσή τους. Εξάλλου η χρήση των ανωτέρω πρώτων υλών για παραγωγή ενέργειας αποσκοπούσε κατά κύριο λόγο στην παραγωγή θερμικής ενέργειας για οικιακές εργασίες όπως μαγείρεμα, για θέρμανση εσωτερικών χώρων και για χαμηλής ποιότητας φωτισμό.

Με την ανακάλυψη του ηλεκτρισμού, την ανάπτυξη των μεταφορών, την έναρξη χρήσης των ορυκτών πόρων (πετρέλαιο, λιγνίτης, φυσικό αέριο κλπ) ως κάυσιμο και εν συνεχεία την εγκατάσταση μόνιμου και εκτεταμένου δικτύου διανομής του ηλεκτρικού ρεύματος, αυξήθηκαν δραστικά οι απαιτήσεις σε κατανάλωση ενέργειας [1].

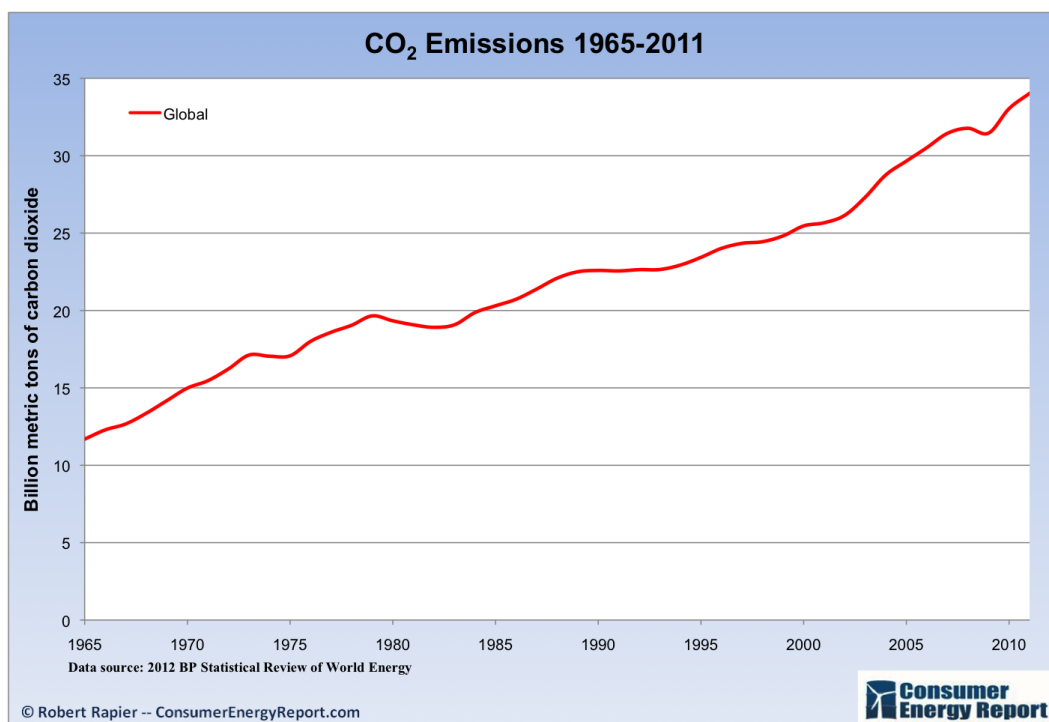
Οι Vlachogianni and Valvanidis (2013) διερεύνησαν και αποτύπωσαν αυτή την έντονη αύξηση τόσο χρονικά, όσο και σε σχέση με την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται για την παραγωγή της ενέργειας σε κάθε χρονική περίοδο (Σχήμα 1.1) [1]. Αξιοσημείωτο είναι πως η συνολική απαιτούμενη ενέργεια τα τελευταία 70 χρόνια, δηλαδή από το 1940 περίπου και μετά, φαίνεται να έχει πενταπλασιαστεί. Ως μέσο παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιείται κυρίως η καύση ορυκτών πόρων, ενώ παρατηρείται από το 1980 μία μικρή αύξηση στη χρήση βιοκαυσίμων. Τα βιοκαύσιμα αυτά είναι νέας γενιάς όπως το βιοντίζελ, το βιοαέριο και τα πέλλετ [1]. Τέλος η

υδροηλεκτρική και η πυρηνική ενέργεια εμφανίστηκαν τα τελευταία 40 χρόνια περίπου ως εναλλακτικές μορφές αλλά είναι ακόμα πολύ περιορισμένες.



Σχήμα 1.1: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο ανά έτος και σε σχέση με την πρώτη ύλη παραγωγής της [1]

Το μεγαλύτερο πρόβλημα που εγείρεται από την αύξηση της ενεργειακής ζήτησης είναι η μεγάλη ποσότητα CO₂ που παράγεται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων ως πρώτη ύλη, για κάλυψη της ζήτησης αυτής. Στο Σχήμα 1.2, αποτυπώνεται η συνολική παραγόμενη ποσότητα CO₂ σε παγκόσμιο επίπεδο ανά έτος [2]. Παρατηρείται ότι η καμπύλη έχει διαρκώς ανοδική πορεία και μάλιστα από το έτος περίπου 2002 και μετά, φαίνεται να έχει ακόμα πιο απότομη κλίση, που μεταφράζεται σε εντονότερη αύξηση παραγωγής CO₂.



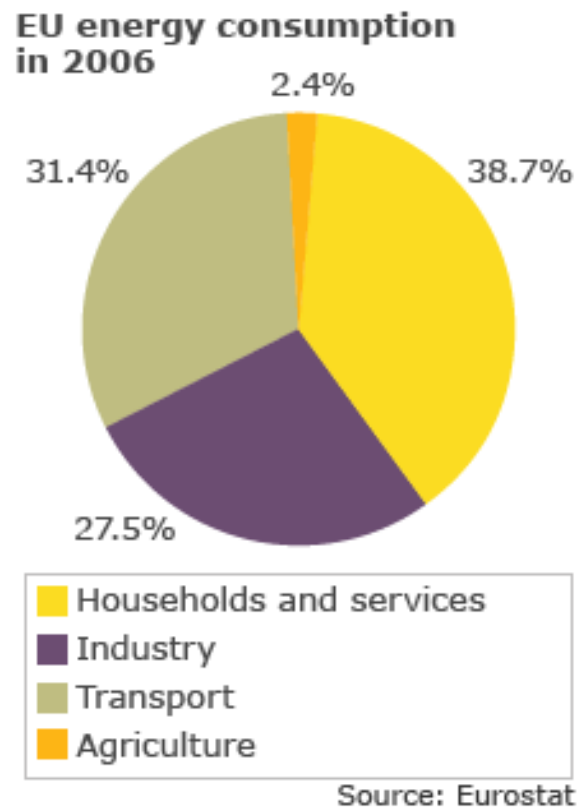
Σχήμα 1.2: Μεταβολή της ετήσιας παραγόμενη ποσότητα CO₂ παγκοσμίως {2}

Η συγκεκριμένη χημική ένωση αν και φαινομενικά ακίνδυνη, προκαλεί ιδιαίτερα δυσμενείς συνέπειες στο περιβάλλον και κατ' επέκταση στον άνθρωπο. Υπάρχει η άποψη ότι η ποσότητα του CO₂ που παράγεται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες είναι ελάχιστη σε σχέση με αυτή που παράγει ο ίδιος ο πλανήτης μέσω των φυσικών του διεργασιών. Αυτό είναι εν μέρη σωστό, αλλά καθώς το έδαφος και οι ωκεανοί αδυνατούν να απορροφήσουν όλη την παραγόμενη ποσότητα CO₂, η πλενάζουσα καταλήγει στην ατμόσφαιρα με δυσμενή αποτελέσματα, το σημαντικότερο εκ των οποίων η δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου.

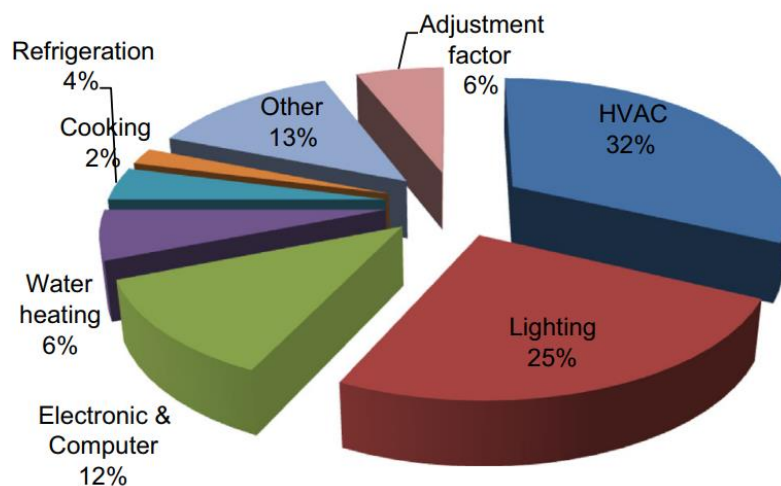
Το φαινόμενο του θερμοκηπίου δημιουργείται καθώς το CO₂ (μαζί με άλλα 5 αέρια αλλά με λιγότερο σημαντική επίδραση τα υπόλοιπα στο τελικό φαινόμενο) δημιουργεί ένα στρώμα γύρω από την γη. Το στρώμα αυτό, ενώ αρχικά επιτρέπει να διέλθει η ηλιακή ακτινοβολία προς την γη, στη συνέχεια λειτουργεί ως «κάλυμμα» και δεν επιτρέπει στην γη να ακτινοβολήσει την θερμότητα προς το διάστημα με αποτέλεσμα την ραγδαία αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σύμφωνα με την NASA, το πάχος των αρκτικών πάγων μειώνεται κατά

9% ανά δεκετία και η στάθμη της θάλασσας να έχει αυξηθεί τον τελευταίο αιώνα κατά 8 ίντσες [2].

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν, είναι προφανής η ανάγκη αρχικά να εντοπιστούν οι τομείς στους οποίους δαπανάται ο ηλεκτρισμός και στη συνέχεια να διευρευνηθούν οι πιθανές εναλλακτικές και τρόποι μείωσής του. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Στατιστική υπηρεσία (Σχήμα 1.3), τα κτίρια (εμπορικά και μη) καταναλώνουν σχεδόν το 39% της συνολικής παραγόμενης ενέργειας, ενώ ο βιομηχανικός τομέας μόλις το 27.5%. Σύμφωνα με το United States Department of Energy (USDOE) το 1/3 σχεδόν της ενέργειας δαπανάται για ψύξη-θέρμανση και κλιματισμό (Σχήμα 1.4), δηλαδή για το σύστημα HVAC. Συνεπώς η χρήση πιο αποδοτικών ενεργειακών συστημάτων HVAC και η κατασκευή των κτιρίων με κατάλληλες προδιαγραφές ώστε να μειώνεται η απαιτούμενη κατανάλωση ενέργειας για κλιματισμό και θέρμανση μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της συνολικής απαιτούμενης. Σύμφωνα με τους W. Wu et al (2018) [3], βασικό ρόλο επίσης παίζει και ο ανθρώπινος παράγοντας, ο οποίος ουσιαστικά καθορίζει κάθε φορά τις επιθυμητές εσωτερικές συνθήκες (υγρασίας, θερμοκρασίας κλπ) και κατ'επέκταση την ενέργεια που απαιτείται για την επίτευξή τους. Επιπλέον η επιλογή λαμπτήρων εξοικονόμησης ενέργειας και οικιακών συσκευών (ψυγεία, πλυντήρια, στεγνωτήρια) με υψηλή απόδοση, εκτός από την προφανή άμεση επίδραση στην κατανάλωση ενέργειας, συμβάλλουν και έμμεσα στην εξοικονόμησή της, καθώς μειώνουν τα θερμικά φορτία που πρέπει να αντισταθμιστούν με το σύστημα HVAC.



Σχήμα 1.3: Κατανομή της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας {3}



Σχήμα 1.4: Κατανομή της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε κτίρια εμπορικής χρήσης [4]

Με την αλματώδη πρόοδο της τεχνολογίας και των δυνατοτήτων των Η/Υ, ένα σημαντικό εργαλείο για την πρόβλεψη των ενεργειακών καταναλώσεων είναι τα

προγράμματα (λογισμικά) προσομοίωσης κτιρίων τα οποία μπορούν να προβλέψουν την απαιτούμενη κατανάλωση για δεδομένες συνθήκες. Μέσω των προγραμμάτων αυτών, μοντελοποιείται η βασική δομή ενός κτιρίου, εισάγοντας στο λογισμικό τα βασικά χαρακτηριστικά που επιδρούν στην κατανάλωση ενέργειας όπως είναι τα υλικά κελύφους, ο προσανατολισμός του, το σύστημα ψύξης και θέρμανσης, ο φωτισμός, η πυκνότητα πληθυσμού κ.α.

Μερικά από τα πιο γνωστά και ευρέως αναγνωρισμένα είναι το eQuest, το Transys, το Trace 700 και το Energy Plus. Το Transys δημιουργήθηκε από το Πανεπιστήμιο του Ουισκόνσιν και είναι διαθέσιμο από το 1975. Από τότε, εξελίσσεται συνεχώς με την πρόσφατη έκδοσή του να είναι η δέκατη έβδομη. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι ιδανικό για έρευνες καθώς έχει τη δυνατότητα να προσφέρει λεπτομερή ανάλυση των συστημάτων όπως θερμικά και φωτοβολταϊκά συστήματα, συστήματα κλιματισμού και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κλπ. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του είναι ότι δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να τροποποιήσει τον κώδικα του προγράμματος ή να εισάγει δικά του μοντέλα μέσω γνωστών γλωσσών προγραμματισμού (FORTRAN, C, C++, PASCAL).

Το Trace 700 είναι πρόγραμμα το οποίο περιέχει πληθώρα μοντελοποιημένων συστημάτων και μηχανολογικού εξοπλισμού, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την διαστασιολόγησή τους.

Το EnergyPlus αποτελεί την ένωση δύο προγραμμάτων, του BLAST και του DOE-2 τα οποία άρχισαν να αναπτύσσονται τη δεκαετία του 1970 με την χρηματοδότηση του Υπουργείου Αμύνης των ΗΠΑ. Μέσω του EnergyPlus, δόθηκε η δυνατότητα να προσομοιωθεί η αλληλεπίδραση συστημάτων θέρμανσης και ψύξης με διαφορετικές θερμικές ζώνες και η εξαγωγή συμπερασμάτων με χρονικά βήματα μικρότερα της μίας ώρας.

Το eQuest αποτελεί το γραφικό περιβάλλον (Graphical user interface) του κώδικα DOE-2. Το σημαντικό του πλεονέκτημα είναι ότι εύχρηστο και λιγότερο χρονοβόρο συγκριτικά με την πλειοψηφία αντίστοιχων προγραμμάτων. Στην παρούσα διπλωματική θα γίνει χρήση του συγκεκριμένου λογισμικού για την προσομοίωση κτιρίου και επομένως θα αναφερθούν στην πορεία περισσότερα χαρακτηριστικά του [2].

Κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι αναγνωρισμένοι φορείς πιστοποίησης αιεφόρου ανάπτυξης κτιρίων όπως ο USGBC (Πιστοποίηση LEED) και ο BRE (Πιστοποίηση BREEAM), έχουν αναγνωρίσει την αξιοπιστία προγραμμάτων πρόβλεψης ενεργειακών καταναλώσεων των κτιρίων καθώς τα έχουν εντάξει στη διαδικασία αξιολόγησής τους.

1.2 Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας

Με όσα αναφέρθηκαν είναι προφανής η ανάγκη για μείωση της συνολικής ενέργειας που δαπανάται λόγω των δυσμενών συνεπειών στο περιβάλλον.

Σκοπός της διπλωματικής αυτής είναι να διερευνηθούν παράγοντες οι οποίοι επιδρούν στην ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων που απαιτείται για το σύστημα HVAC. Πιο συγκεκριμένα θα μελετηθεί η επίδραση του προσανατολισμού του κτιρίου, του πάχους της εξωτερικής μόνωσης και τεσσάρων διαφορετικών συστημάτων HVAC ώστε να διαπιστωθεί σε τι ποσοστό μπορούν να συμβάλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας.

1.3 Περιεχόμενα - Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Στο **Κεφάλαιο 2** γίνεται μία σύντομη ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας ώστε να διερευνηθεί η αξιοπιστία των ενεργειακών μοντέλων σύμφωνα με προυπάρχουσες μελέτες και στη συνέχεια να καταγραφούν τα συμπεράσματα άλλων ερευνητών σχετικά με την επίδραση του προσανατολισμού του κτιρίου και του πάχους μόνωσης στην ενεργειακή κατανάλωση για το σύστημα HVAC.

Στο **Κεφάλαιο 3** περιγράφονται αρχικά με συντομία οι απαιτήσεις θερμομόνωσης στην Ελλάδα και κατόπιν γίνεται μία σύντομη αναφορά των βασικών τμημάτων (επιμέρους μηχανημάτων και εξαρτημάτων τους) τα οποία θα συμπεριληφθούν στα ολοκληρωμένα συστήματα HVAC που μελετηθούν στο Κεφάλαιο 4.

Στο **Κεφάλαιο 4** γίνεται παρουσίαση του προγράμματος ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων 'eQuest' και καταγράφονται τα χαρακτηριστικά του κτιρίου που παραμένουν

αμετάβλητα στις διαφορετικές εναλλακτικές λειτουργίας και υλικών κατασκευής που προσομοιώνονται στο επόμενο Κεφάλαιο

Στο **Κεφάλαιο 5** καταγράφονται λεπτομερώς τα στάδια προσομοίωσης για κάθε διαφορετικό 'σενάριο' και στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και εξάγονται επιμέρους συμπεράσματα. Στο κεφάλαιο αυτό διερευνήθηκε η επίδραση του πάχους μόνωσης, του προσανατολισμού του κτιρίου και του συστήματος HVAC στην απαιτούμενη ενεργειακή κατανάλωση.

Στο **Κεφάλαιο 6** συνοψίζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την βιβλιογραφική ανασκόπηση και τις προσομοιώσεις μέσω του λογισμικού και γίνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Στο τέλος καταγράφεται συνολικά η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

ΥΠΑΡΧΟΥΣΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με τους H. Ma et al (2017) [5] υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου. Γενικά αυτοί οι παράγοντες μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες τους εσωτερικούς και εξωτερικούς παράγοντες. Εξωτερικοί παράγοντες είναι εκείνοι που συμβάλλουν στα θερμικά κέρδη, όπως οι καιρικές συνθήκες, δηλαδή η ηλιακή ακτινοβολία, η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου αλλά και ο φωτισμός, η θερμότητα που ακτινοβολεί το ανθρώπινο σώμα κ.α.. Οι εσωτερικοί παράγοντες σχετίζονται με το ίδιο το κτίριο ως δομή και ιδιότητες υλικών κατασκευής, προσανατολισμό και σχήμα. Στο κεφάλαιο αυτό αρχικά θα διερευνηθεί η ικανότητα των ενεργειακών μοντέλων να δίνουν ακριβή αποτελέσματα. Στη συνέχεια θα εξεταστεί η επίδραση του προσανατολισμού του κτιρίου και η συμβολή του πάχους μόνωσης του κελύφους στην εξοικονόμηση ενέργειας για το σύστημα HVAC.

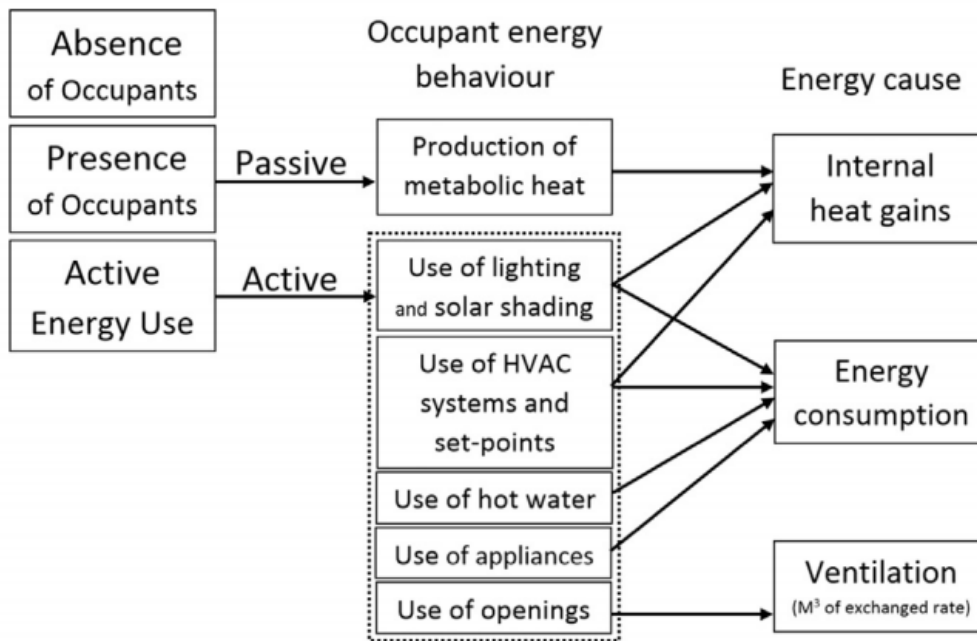
2.2 Αξιοπιστία ενεργειακών μοντέλων

Οι κώδικες υπολογισμού της ενεργειακής κατανάλωσης, λαμβάνουν στοιχεία σχετικά με την τοποθεσία του κτιρίου τα υλικά κελύφους του κτιρίου, τον ΗΜ εξοπλισμό, τις συνθήκες θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου και τα εκτιμώμενα θερμικά εσωτερικά φορτία . Με βάση αυτά προβλέπουν την ετήσια ενεργειακή κατανάλωση. Το γεγονός ότι βασικά δεδομένα όπως η διαφοροποίηση των καιρικών συνθηκών ανά έτος και ο ανθρώπινος παράγοντας, δεν μπορούν να ελεγχθούν και να προβλεφθούν με ακρίβεια, μπορεί να οδηγήσει σε ανακριβή αποτελέσματα και ακολούθως στην αμφισβήτηση της αξιοπιστίας των συγκεκριμένων προγραμμάτων. Ακολουθεί η αναφορά σε μελέτη ερευνητών που ασχολήθηκαν με το συγκεκριμένο ζήτημα. Οι E. Delzendeh et al (2017) διερεύνησαν την επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα, ενώ

οι S-J. Guo & T. Wei (2016) την επίδραση της διαφοροποίησης των καιρικών συνθηκών ανά έτος σε μία συγκεκριμένη τοποθεσία. Οι M. Frankel και C. Turner (2008) συγκέντρωσαν στοιχεία από 90 κτίρια και συνέκριναν τις πραγματικές ετήσιες καταναλώσεις με τις αντίστοιχες που είχαν υπολογιστεί από προγράμματα προσομοίωσης κτιρίων.

Οι ερευνητές E. Delzendeh et al [6] μελέτησαν περισσότερα από 100 δημοσιεύσεις που είχαν ως αντικείμενο την απόκλιση των πραγματικών από τις υπολογισμένες μέσω ενεργειακών μοντέλων καταναλώσεις και την επίδραση της ανθρώπινης συμπεριφοράς σε αυτές. Αναφέρουν πως σε πολλές περιπτώσεις κτίρια καταναλώνουν έως και τριπλάσια ενέργεια από την αρχικά υπολογισθείσα.

Οι άνθρωποι αλληλεπιδρούν με τα συστήματα κλιματισμού, φωτισμού, αερισμού κλπ ώστε να δημιουργήσουν ένα πιο ευχάριστο περιβάλλον για αυτούς, δηλαδή για παράδειγμα αλλάζουν τον φωτισμό, την επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία, ανοιγοκλείνουν παράθυρα ή αλλάζουν τη θέση των σκιάστρων (περσίδες), χρησιμοποιούν θερμότερο ή ψυχρότερο νερό κ.α. Επιπλέον η παρουσία στο χώρο μεγαλύτερου πλήθους ατόμων, αυξάνει τα εσωτερικά θερμικά κέρδη. Στο Σχήμα 2.1 φαίνεται ο τρόπος που επιδρά ο ανθρώπινος παράγοντας στην ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου και κυρίως στο σύστημα HVAC του.



Σχήμα 2.1: Επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα στην ενεργειακή κατανάλωση του ενός κτιρίου [6]

Οι E. Delzendeh et al (2017) [6] αναφέρουν χαρακτηριστικά πως σύμφωνα με τα αποτελέσματα του project “ROWNER” καταγράφηκε σημαντική διαφοροποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης ανάμεσα σε δύο διαμερίσματα της ίδιας πολυκατοικίας. Αυτή η διαφορά οφειλόταν σε διαφορετικά ωράρια διαμονής των ενοίκων, διαφορετικό αριθμό ενοίκων και διαφορετικές προτιμήσεις όσον αφορά την βέλτιστη θερμοκρασία του χώρου, ενώ όλες οι υπόλοιπες παράμετροι (καιρικές συνθήκες, σύστημα HVAC κλπ) ήταν ίδιες. Ο S-E. Cakici (2015) [7] χαρακτηρίζει τον ανθρώπινο παράγοντα ως τον πιο καθοριστικό ενώ οι Martinaitis και Zavadskasn (2015) [8] διεινήργησαν εκτεταμένη μελέτη για να τονίσουν την βαρύτητα του.

Οι E. Delzendeh et al (2017) [6] ολοκληρώνουν την μελέτη τους αναφέροντας πως η ανθρώπινη συμπεριφορά εξαρτάται από κοινωνικούς και ψυχολογικούς-προσωπικούς παράγοντες και προτείνουν να γίνει μία πιο εκτεταμένη έρευνα ώστε να συνδυαστούν αυτοί οι παράγοντες και ενδεχομένως να καταστή εφικτό να προβλεφθούν σε κάποιο βαθμό, μέσω κατάλληλων μοντέλων συμπεριφοράς.

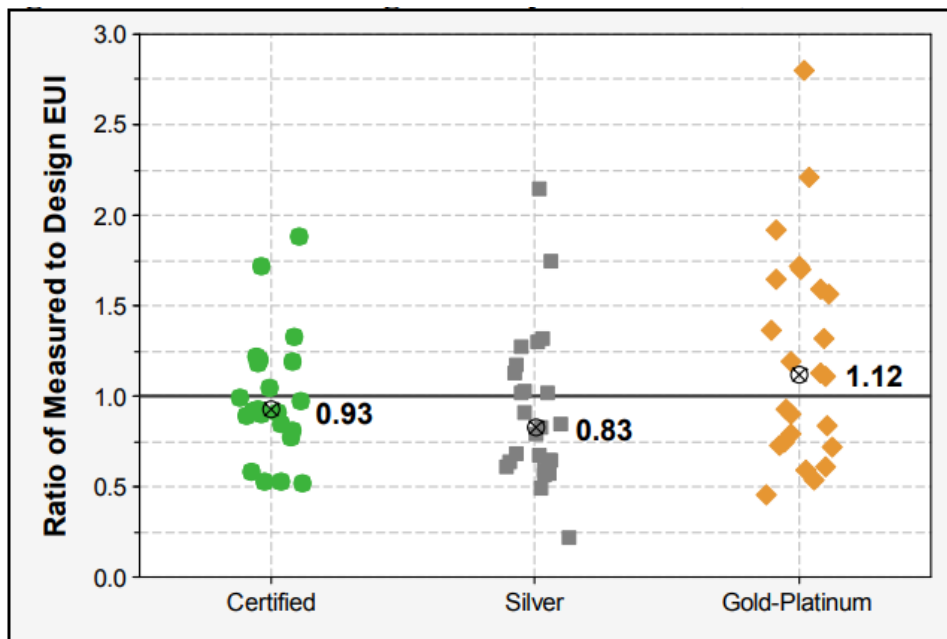
Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως στο πλαίσιο των πιστοποιήσεων αειφόρου ανάπτυξης “LEED” του USGBC (United States Green Business Council), είναι υποχρεωτική η υποβολή του ενεργειακού μοντέλου του κτιρίου. Πιο συγκεκριμένα στο USGBC υποβάλλεται το ενεργειακό μοντέλο του κτιρίου αναφοράς και του πραγματικά κατασκευασμένου κτιρίου. Ως κτίριο αναφοράς ορίζεται ως το κτίριο το οποίο πληροί τις ελάχιστες προδιαγραφές των κανονισμών (ASHRAE). Ουσιαστικά ελέγχεται η διαφοροποίηση στην ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου αναφοράς (Baseline) και του πραγματικού (Proposed). Τα κτίρια που πιστοποιούνται κατά LEED οφείλουν να κοινοποιούν στο USGBC τουλάχιστον για τα πρώτα πέντε χρόνια μετά την λήψη της πιστοποίησης τις πραγματικές ενεργειακές τους καταναλώσεις.

Οι M. Frankel και C. Turner (2008) [8] συγκέντρωσαν τις ενεργειακές καταναλώσεις 70 κτιρίων τα οποία είχαν πιστοποιηθεί κατά LEED, τόσο τις πραγματικές αλλά και τις εκτιμώμενες μέσω του ενεργειακού μοντέλου όπως είχαν υποβληθεί κατά το στάδιο αξιολόγησης. Τα κτίρια αυτά αποτελούν κτίρια ‘μέσης’ ενεργειακής κατανάλωσης (πχ γραφεία). Ως χαμηλής κατανάλωσης χαρακτηρίζονται οι κατοικίες, ενώ ως υψηλής τα νοσοκομεία, εργαστήρια, εμπορικά κέντρα κ.α.

Οι ερευνητές τονίζουν ιδιαίτερα, σε διαφορετικά σημεία του άρθρου τους, ότι η σκοπιμότητα ενός ενεργειακού μοντέλου δεν είναι να προβλέψει με ακρίβεια τις πραγματικές ενεργειακές καταναλώσεις, αλλά να χρησιμοποιηθεί από τους μελετητές ως εργαλείο λήψης αποφάσεων οι οποίες θα οδηγήσουν σε μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας. Δηλαδή μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα μόνο μέσω της διαφοροποίησης της ενεργειακής κατανάλωσης μεταξύ των διαφορετικών εναλλακτικών σχεδιασμού.

Στο Σχήμα 2.2 παρουσιάζεται η συσχέτιση μεταξύ της πραγματικής ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης και της υπολογισμένης για τα διαφορετικά κτίρια. Οι κατηγορίες “Certified”, “Silver”, “Gold” και “Platinum” είναι τα διαφορετικά επίπεδα πιστοποίησης κατά LEED. Το επίπεδο “Platinum” είναι το ανώτερο επίπεδο. Να διευκρινιστεί ότι το επίπεδο πιστοποίησης δεν καθορίζεται αποκλειστικά από την ενεργειακή κατανάλωση αλλά προκύπτει από αξιολόγηση πολλών κριτηρίων όπως η διαχείριση του νερού, των απορριμμάτων, το ανακυκλωμένο περιεχόμενο των υλικών κατασκευής κ.α. Τιμή ίση με τη μονάδα έχει ένα κτίριο αν η υπολογισμένη και

η πραγματική κατανάλωση είναι ίσες, ενώ μικρότερη της μονάδας αν η πραγματική είναι μικρότερη. Να επισημανθεί πως ως υπολογισμένες καταναλώσεις μέσω του λογισμικού έχουν θεωρηθεί οι αρχικά υποβληθείσες και δεν έγινε κάποια αναπροσαρμογή σύμφωνα με τα πραγματικά στοιχεία καιρού των επόμενων ετών ή άλλων αντίστοιχων δεδομένων (πχ πραγματικές ώρες λειτουργίας κτιρίου, πλήθος εργαζομένων και επισκεπτών κ.α.) . Η συντομογραφία EUI (Energy Use Intensity) εκφράζει την κατανάλωση ενός κτιρίου ανά τετραγωνικό πόδι (sf) και ανά έτος.



Σχήμα 2.2: Λόγος πραγματικής ανετηγμένης κατανάλωσης σε σχέση με την υπολογησθείσα από ενεργειακά μοντέλα για κτίρια διαφορετικών επιπέδων Πιστοποίησης LEED

Είναι προφανές ότι υπάρχει μία λογική διασπορά των καταναλώσεων γύρω από την μονάδα για όλα τα επίπεδα πιστοποίησης, με μεγαλύτερη απόκλιση να παρουσιάζουν τα πιο “αιεφόρα” κτίρια. Αν ληφθούν υπ’ όψιν οι μέσες τιμές, παρατηρείται ότι, οι πραγματικές καταναλώσεις των κτιρίων τα οποία έχουν απλά πιστοποιηθεί ή έχουν λάβει πιστοποίηση “silver” είναι κατά 7% και 17% αντίστοιχα μικρότερες σε σχέση με τις αρχικά εκτιμώμενες. Αντίθετα τα πιο φιλικά προς το περιβάλλον κτίρια απαιτούν ενεργειακή κατανάλωση μεγαλύτερη κατά 12%.

Αν εξεταστεί μεμονωμένα κάθε περίπτωση κτιρίου και γίνει η αντίστοιχη σύγκριση, προκύπτει ότι οι πραγματικές καταναλώσεις υποεκτιμώνται ή υπερεκτιμώνται έως και σχεδόν 3 φορές, οπότε τα αποτελέσματα που δίνονται δεν είναι ακριβή. Αν όμως ληφθεί ο μέσος όρος των λόγων της πραγματική προς την εκτιμώμενη κατανάλωση, φαίνεται να είναι κοντά στη μονάδα. Επομένως θα μπορούσε να εξαχθεί το συμπέρασμα πως αν μελετηθεί η ενεργειακή κατανάλωση σε ευρεία κλίμακα, δηλαδή για ένα μεγαλύτερο πλήθος κτιρίων, ενδεχομένως τα ενεργειακά μοντέλα να μπορούν να δώσουν σε γενικές γραμμές ικανοποιητικά αποτελέσματα ως προς την πρόβλεψη των ενεργειακών καταναλώσεων, καθώς αλληλοαναιρούνται οι διαφοροποιήσεις που προκύπτουν.

Οι S-J. Guo & T. Wei (2016) [10] μελέτησαν το νέο κτίριο της σχολής Πολιτικών Μηχανικών του πανεπιστημίου της πόλης Τάιπέι στο Ταϊβάν, που ολοκληρώθηκε τον Ιούνιο του 2008. Αποτελείται από 10 ορόφους και έχει συνολικό εμβαδόν 9886 m². Ο δεύτερος όροφος είναι κατασκευασμένος κατάλληλα ώστε να προστατεύσει την υπερκείμενη κατασκευή από ενδεχόμενες καταστροφικές καταπονήσεις σε περίπτωση έντονης σεισμικής δόνησης. Δρα δηλαδή ως αποσβεστήρας. Το μεγαλύτερο τμήμα του κτιρίου κατασκευάστηκε από προκατασκευασμένο σκυρόδεμα και περιλαμβάνει κυρίως γραφεία και αίθουσες διδασκαλίας (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3: Φωτογραφική αποτύπωση κτιρίου

Για ερευνητικούς σκοπούς, τα τρία πρώτα χρόνια λειτουργίας του, καταγράφονταν αναλυτικά οι καταναλώσεις του. Η υψηλότερη παρατηρήθηκε τον Οκτώβριο λόγω αυξημένης κατανάλωσης του συστήματος ψύξης, καθώς η θερμοκρασία εκείνη την εποχή είναι ιδιαίτερα υψηλή, ενώ η χαμηλότερη τον μήνα Φεβρουάριο κατά τον οποίο δεν γίνονται διαλέξεις. Οι συνολικές ετήσιες κιλοβατόρες ανα τετραγωνικό μέτρο (KWh/m²) μετρήθηκαν ίσες με 121.86, ενώ οι μέγιστες κιλοβατόρες που καταναλώθηκαν ανά κτίριο σε όλα τα υπόλοιπα Πανεπιστήμια της Ταϊβάν είναι 123.4. Αντιλαμβανόμαστε ότι είναι ένα ιδιαίτερα ενεργειακά κοστοβόρο κτίριο.

Λόγω του γεγονότος αυτού, έγινε μία προσπάθεια προσομοίωσης από τους S-J. Guo & T. Wei (2006) [10] αρχικά των ενεργειακών καταναλώσεων μέσω του υπολογιστικού πακέτου eQuest και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μία ανάλυση ευαισθησίας διαφόρων παραμέτρων για να εντοπιστούν εφικτές λύσεις για τη μείωση τους. Στην παρούσα διπλωματική θα δεν θα επεκταθούμε στην συγκεκριμένη ανάλυση, αλλά θα επικεντρωθούμε στο πρώτο στάδιο της έρευνάς τους.

Το κλίμα της Τάιπέι είναι ημιτροπικό με υψηλές θερμοκρασίες και έντονες βροχοπτώσεις. Κατά τον σχεδιασμό του κτιρίου δόθηκε προτεραιότητα στην θωράκιση του κτιρίου από την εξωτερική θερμότητα. Γι αυτό το λόγο επιλέχθηκε θερμοπερατότητα (U value) με τιμή 0.94W/m²K για τους εξωτερικούς τοίχους και 2.16W/m²K για την οροφή, ενώ για τα παράθυρα δεν εφαρμόστηκε κάποια απαίτηση

(Πίνακας 2.1). Η οροφή αποτελείται από μία στρώση πολυουρεθάνης πάχους 0.2cm, σκυρόδεμα 10cm, μεταλλικό έλασμα πάχους 0.15cm, απλός βετροβάμβακας πάχους 0.2cm και πετροβάμβακας με ηχοαπορροφητικές ιδιότητες πάχους 2.5cm. Ο τοίχος είναι κατασκευασμένος από σοβά πάχους 2.5cm, προκατασκευασμένο σκυρόδεμα πάχους 18cm και πλακίδια από πορσελάνη 0.8cm. Τα παράθυρα είναι κατασκευασμένα από γυαλί τύπου 'Low-e' και επιπλέον έχουν τοποθετηθεί οριζόντιες περσίδες μήκους 0.65m για σκίαση.

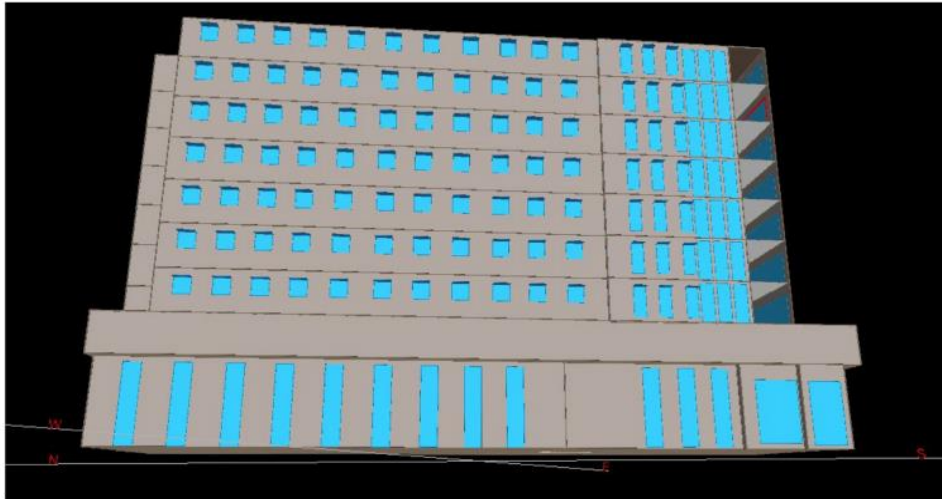
Το σύστημα κλιματισμού αποτελείται από τέσσερις υδρόψυκτους ψύκτες (Chillers) εκ των οποίων ο καθένας έχει ισχύ 698KW, 174KW ενώ δύο έχουν 52KW. Ο συμπιεστής στον έναν είναι αξονικού τύπου (screw type compressor) ενώ στους υπόλοιπους τρεις παλινδρομικού (reciprocating compressor).

Πίνακας 2.1: Υλικά κελύφους

Scheme	Main Material	Structure	U Value (W/m ² K)
Roof	Steel plate	PU: 2 mm, Light concrete: 100 mm, Steel plate: 1.5 mm, Mineral wool panel: 2 mm, Air layer, Mineral wool acoustic panel: 15 mm	0.94
External wall	Prefabricated wall	Porcelain tiles: 8 mm, Precast reinforced concrete slab: 180 mm, Air layer, Plasterboard: 25 mm	2.16
Windows	Aluminum alloy frameLow-E glass	Low-E 8 + Air + 8, η _i =0.33	-
Sunshade	Aluminum louver panel	Horizontal louvers 0.65 m	-

Στη Σχήμα 2.4 φαίνεται το κτίριο όπως μοντελοποιήθηκε στο eQuest. Ως καιρικές συνθήκες εισήχθησε το κλίμα της Τάιπέι. Να σημειωθεί ότι το πρόγραμμα υπολογίζει κάθε φορά τις καταναλώσεις με βάση κλιματολογικά στοιχεία κάποιου συγκεκριμένου παρελθοντικού έτους, το οποίο επιλέγεται κάθε φορά από τον μελετητή.

Όσον αφορά την πυκνότητα πληθυσμού ορίστηκε η τιμή 10m²/άτομο, ενώ η θερμότητα που εκπέμπεται ανά άτομο ίση με 132Watt. Η εσωτερική θερμοκρασία ορίστηκε στους 26°C και το ωράριο λειτουργίας 8.00 am έως 9.00 pm για τα Σαββατοκύριακα και 9.00 am με 8.00 pm για τις καθημερινές. Η ιδιαιτερότητα ενός πανεπιστημιακού συγκροτήματος σε σχέση με ένα κτίριο γραφείων είναι ότι το ωράριο λειτουργίας μπορεί να προβλεφθεί με λιγότερη ακρίβεια.



Σχήμα 2.4: Μοντελοποίηση κτιρίου στο eQuest

Με βάση αυτά έγινε σύγκριση των υπολογισμένων καταναλώσεων και των πραγματικών. Για να εξομαλυνθούν αποκλίσεις των πραγματικών μηνιαίων καταναλώσεων σε διαφορετικά έτη λόγω της διαφοροποίησης των καιρικών συνθηκών (Πίνακας 2.2), αποφασίστηκε οι καταναλώσεις που προέκυχαν από το eQuest να συγκριθούν με την μέση τιμή των μηνιαίων καταναλώσεων των τριών ετών (2011-2013) (Πίνακας 2.3). Στο Σχήμα 2.5 αποτυπώνεται αυτή η σύγκριση. Η μέγιστη απόκλιση παρατηρείται τον μήνα Απρίλιο (9.06%), ενώ η συνολική διαφοροποίηση ανέρχεται μόνο σε 1.97%. Βάσει αυτών προκύπτει ότι το ενεργειακό μοντέλο πρόβλεψε με πολύ καλή ακρίβεια τις συνολικές ετήσιες καταναλώσεις. Αν γινόταν σύγκριση μόνο μεταξύ του έτους 2011 και των αποτελεσμάτων από το eQuest, θα προέκυπτε το συμπέρασμα ότι η απόκλιση είναι πολύ μεγαλύτερη και συγκεκριμένα ίση με 11.6%, δηλαδή περίπου δέκα φορές μεγαλύτερη σε σχέση με όταν η σύγκριση έγινε με τον μέσο όρο των τριών ετών.

Πίνακας 2.2: Πραγματικές ενεργειακές καταναλώσεις

Energy consumption of Civil Engineering Research Building (kWh).

	January	February	March	April	May	June
2011	87,049	72,757	84,046	84,973	98,056	105,620
2012	85,778	79,239	110,778	111,493	113,442	115,722
2013	98,850	81,515	100,792	99,523	114,599	115,796
Avg EC	90,559	77,837	98,539	98,663	108,699	115,759

	July	August	September	October	November	December	TEC
2011	95,223	89,529	96,783	101,907	99,184	85,574	1,100,701
2012	110,941	111,746	106,101	104,544	96,712	98,641	1,245,137
2013	109,996	109,631	108,077	99,342	102,356	102,617	1,243,094
Avg EC	105,387	103,635	103,654	101,931	99,417	100,629	1,204,709

Note: Avg EC = Average energy consumption; TEC = Total energy consumption.

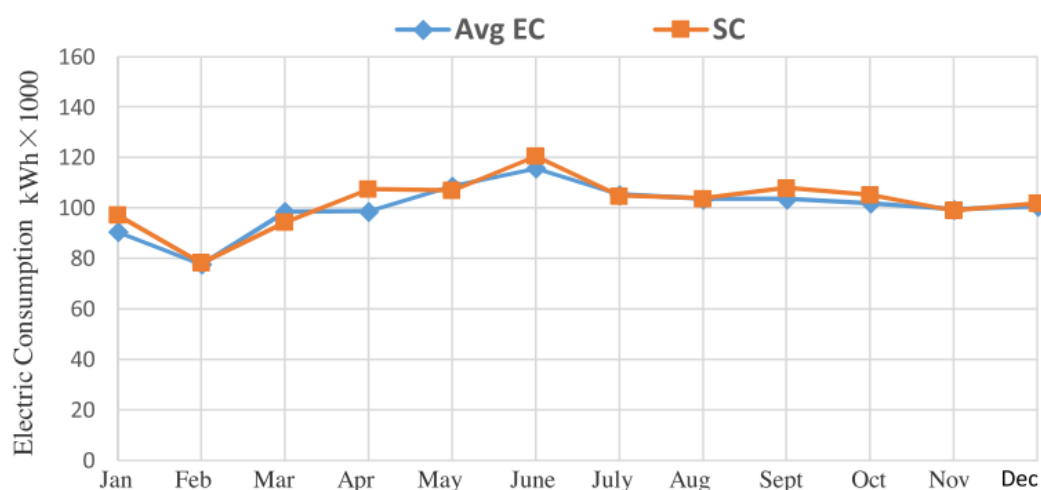
Πίνακας 2.3: Συγκριτικός Πίνακας υπολογισμένων ενεργειακών καταναλώσεων μέσω του eQuest σε σχέση με τον Μέσο Όρο των πραγματικών για τρία διαδοχικά έτη

Energy consumption values (kWh).

	January	February	March	April	May	June
Avg EC	90,559	77,837	98,539	98,663	108,699	115,759
SC	97,300	78,300	94,500	107,600	107,000	120,700

	July	August	September	October	November	December	TEC
Avg EC	105,387	103,635	103,654	101,931	99,417	100,629	1,204,709
SC	104,900	103,900	108,000	105,300	99,100	101,900	1,228,400

Note: SC = Simulation consumption; TEC = Total energy consumption.



Σχήμα 2.5: Συγκριτικό διάγραμμα υπολογισμένων ενεργειακών καταναλώσεων μέσω του eQuest σε σχέση με τον Μέσο Όρο των πραγματικών για τρία διαδοχικά έτη

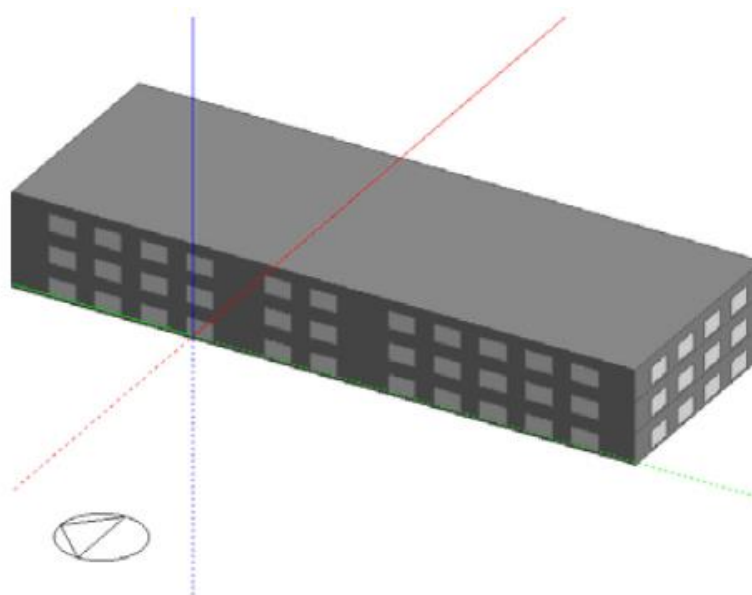
Με βάση τα ανωτέρω προκύπτει το συμπέρασμα πως υπό προϋποθέσεις το ενεργειακό μοντέλο μπορεί να δώσει ακριβή αποτελέσματα. Είναι αδιαμφισβήτητο ότι οι καιρικές συνθήκες κάθε έτους επιδρούν σε μεγάλο βαθμό στην ετήσια ενεργειακή κατανάλωση. Επομένως μία πρόταση θα ήταν όταν διερευνάται η αξιοπιστία των ενεργειακών μοντέλων, να γίνεται η σύγκριση ως μέσος όρος των καταναλώσεων πολλαπλών ετών. Επιπλέον όταν επιδιώκεται η ακριβής πρόβλεψη των ενεργειακών καταναλώσεων, προτείνεται να μοντελοποιείται το κτίριο για τις καιρικές συνθήκες πολλαπλών ετών και να λαμβάνεται ως αποτέλεσμα ο μέσος όρος τους.

2.3 Επίδραση προσανατολισμού

Ο προσανατολισμός ενός κτιρίου επιδρά στα θερμικά του κέρδη λόγω της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Ακολουθούν τα σχετικά συμπεράσματα διαφόρων μελετητών.

Οι ερευνητές A. Boyano et al (2013) [11] προσομοίωσαν ένα κτίριο γραφείων με το λογισμικό EnergyPlus και εξήγαγαν συμπεράσματα, μεταξύ άλλων, σχετικά με το ποσοστό της ενέργειας για κλιματισμό και θέρμανση που μπορεί να εξοικονομηθεί, διαφοροποιώντας μόνο τον προσανατολισμό του κτιρίου. Συγκεκριμένα εξέτασαν δύο διαφορετικές εναλλακτικές προσανατολισμού.

Το υποθετικό κτίριο βρίσκεται στο Λονδίνο και μελετήθηκε για το έτος 2010. Αποτελείται από τρεις ορόφους και ένα υπόγειο, έχει σχήμα ορθογωνικό και η έκτασή του είναι 4620m² (Σχήμα 2.6). Είναι επαγγελματικό κτίριο, δηλαδή περιλαμβάνει κυρίως γραφεία αίθουσες συσκέψεων και βοηθητικούς χώρους. Η εσωτερική θερμοκρασία το χειμώνα θεωρήθηκε σταθερή στους 21°C και το καλοκαίρι στους 25°C. Η θέρμανση πραγματοποιείται με σύστημα καύσης αερίου και απόδοση 80%, ενώ το σύστημα ωύξης έχει COP ίσο με 3. Οι τοίχοι είναι από οπτόπλινθους και σκυρόδεμα, η οροφή είναι μονωμένη και φέρει ασφαλική επίστρωση και τα παράθυρα έχουν διπλούς υαλοπίνακες με ξύλινο πλαίσιο (Πίνακας 2.4).



Σχήμα 2.6: Μοντέλο κτιρίου στο πρόγραμμα EnergyPlus [11]

Πίνακας 2.4: Χαρακτηριστικά κελύφους κτιρίου [11]

Size	4620 m ²	Lay-out	3 floors
Geometry	Rectangular shape	Orientation	East-west
Walls	Insulated cavity wall, outer layer brickwork and concrete block as indoor layer		
Roof	Plasterboard, insulation and asphalt flat roof		
Glazing	Wooden frame and double layer		
Floor	Insulated concrete, screed and timber flooring		

Στον Πίνακα 2.5 αναγράφονται οι καταναλώσεις στα βασικά συστήματα για δύο διαφορετικούς προσανατολισμούς του ορθογωνικού κτιρίου (δύση-ανατολή και βορράς νότος). Προφανώς μεταβάλλονται μόνο οι καταναλώσεις του συστήματος ψύξης και θέρμανσης, ενώ του φωτισμού και του ZNX παραμένουν σταθερές. Με την αλλαγή προσανατολισμού μπορεί να εξοικονομηθεί έως 9% στην κατανάλωση για θέρμανση και έως 3.5% για ψύξη. Συνεπώς όταν η μελέτη για την κατασκευή ενός

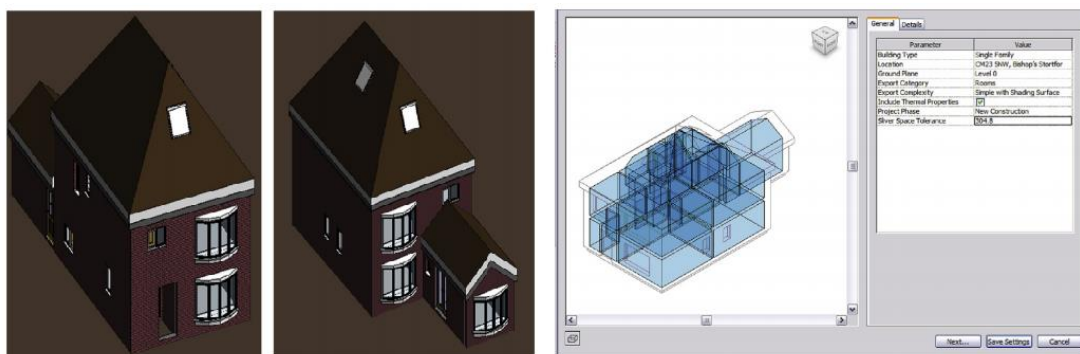
νέου κτιρίου βρίσκεται σε αρχικό στάδιο, προτείνεται να εξετάζεται και να επιλέγεται η κατάλληλότερη χωροθέτηση του οικήματος. Επιπλέον περίπου το 23% και το 14%

της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας χρησιμοποιείται για θέρμανση και ψύξη αντίστοιχα των εσωτερικών χώρων.

Πίνακας 2.5: Ενεργειακή κατανάλωση κτιρίου για τα διαφορετικά ΗΜ συστήματα σε δύο διαφορετικούς προσανατολισμούς [11]

Energy demand	East-west (kWh/m ² year)	North-south (kWh/m ² year)
Lighting	38.52	38.52
Auxiliary energy	3.22	3.22
Heating	16.96	15.42
Cooling	9.97	9.63
Hot water	3.84	3.84

Οι F.H. Abanda και L.Byers (2016) [12] χρησιμοποίησαν το πρόγραμμα Green Building Studio της Autodesk, για την μοντελοποίηση μιας υπάρχουσας τριόροφης κατοικίας (Σχήμα 2.7) στην πόλη Hertfordshire της Αγγλίας. Το ισόγειο αποτελείται από δύο χώρους καθιστικού, μία κουζίνα, μία τραπεζαρία και ένα WC, ο πρώτος από τρεις κρεβατοκάμαρες, ένα μπάνιο και WC και ο τελευταίος όροφος από δύο επιπλέον υπνοδωμάτια.



Σχήμα 2.7: Απεικόνιση μοντελοποιημένου κτιρίου [12]

Συνολικά 11 διαφορετικοί προσανατολισμοί εξετάστηκαν, ενώ δεν δίνονται ακριβείς πληροφορίες για το σύστημα HVAC. Στον πίνακα 2.6 αποτυπώνονται οι ετήσιες καταναλώσεις σε ηλεκτρική ενέργεια και φυσικό αέριο για τις 11 διαφορετικές

περιπτώσεις. Παρατηρείται ότι υπάρχει δυνατότητα εξοικονόμησης έως 5.1% στο ηλεκτρικό ρεύμα και 1% σε φυσικό αέριο. Την μεγαλύτερη εξοικονόμηση την παρουσιάζει όταν η πρόσοψη μεγάλου μήκους (και μεγαλύτερης επιφάνειας παραθύρων) βρίσκεται σε νότιο προσανατολισμό. Μάλιστα αναφέρουν πως σύμφωνα με τους Wong και Fan (2013) [13] είναι μείζονος σημασίας η σωστή χωροθέτηση και προσανατολισμός του κτιρίου καθώς από αυτόν εξαρτάται ο φυσικός φωτισμός και η θερμική ακτινοβολία που εισέχεται στον εσωτερικό χώρο και επομένως δίνεται να εξοικονομηθεί η ενέργεια που θα απαιτούνταν για θέρμανση και φωτισμό.

Πίνακας 2.6: Ετήσια κατανάλωση σε ηλεκτρικό ρεύμα και φυσικό αέριο για διαφορετικούς προσανατολισμούς του κτιρίου [12]

	Annual	
	Electric (kWh)	Fuel (MJ)
Test 1	10 906	85 991
Test 2	11 043	87 816
Test 3	10 929	89 039
Test 4	10 654	87 794
Test 5	10 475	86 883
Test 6	10 584	86 584
Test 7	10 690	87 032
Test 8	10 822	86 498
Test 9	10 566	87 418
Test 10	10 506	87 095
Test 11	10 536	87 257

Οι ερευνητές E. Bellos et al (2016) [14] μοντελοποίησαν σε δύο διαφορετικά προγράμματα, το eQuest και το TRNSYS, το ίδιο κτίριο και συνέκριναν τα αποτελέσματα. Τα χαρακτηριστικά του κτιρίου όπως εισήχθησαν στο πρόγραμμα eQuest, φαίνονται στους Πίνακες 2.6 ÷ 2.8. Έχει έκταση 100m², οι τοίχοι είναι κατασκευασμένοι από οπτόπλινθους με μόνωση από πολυστερίνη και η οροφή από ελαφροσκυρόδεμα και μόνωση ομοίως από πολυστερίνη. Παρατηρείται μία μικρή διαφοροποίηση στις τιμές U-value στο TRNSYS σε σχέση με το eQuest, καθώς τα υλικά

εισάγονται διαφορετικά σε κάθε πρόγραμμα. Τα εξωτερικά κουφώματα φέρουν διπλούς υαλοπίνακες και η πυκνότητα πληθυσμού είναι 0.1 άτομο/m².

Πίνακας 2.6: Χαρακτηριστικά κτιρίου [14]

Parameter	Value	Parameter	Value
Area	100 m ²	Specific gains	14 W/m ² K
Height	3 m	Occupants density	0.1 person/m ²
East glass	double-2 m ²	Specific light	10 W/m ²
West glass	double-2 m ²	Infiltration rate	1.12 changes per hour
South glass	double-4 m ²	Rotation	0° (walls in four directions)
Shading coefficient	70 %	Insulation conductivity	0.035 W/m K

Πίνακας 2.7: Τιμές U value αδιαφανών στοιχείων κελύφους [14]

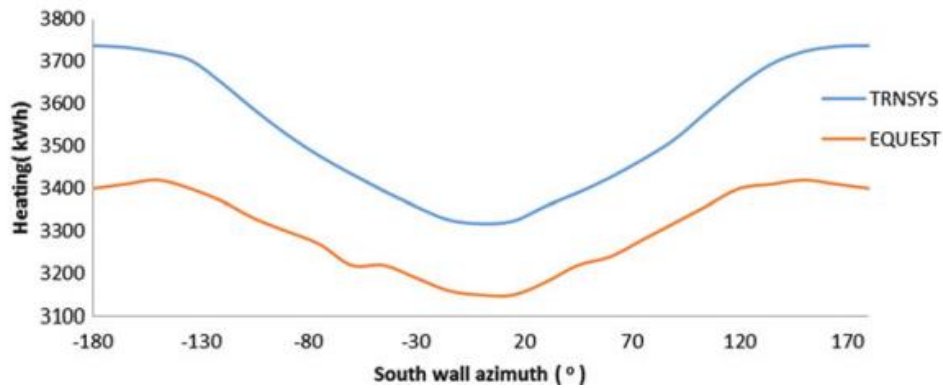
Program	External walls U (W m ² K)	Roof U (W m ² K)	Ground U (W m ² K)
eQuest	0.39	0.37	0.30
TRNSYS	0.38	0.39	0.29

Πίνακας 2.8: Υλικά κατασκευής αδιαφανών στοιχείων κελύφους [14]

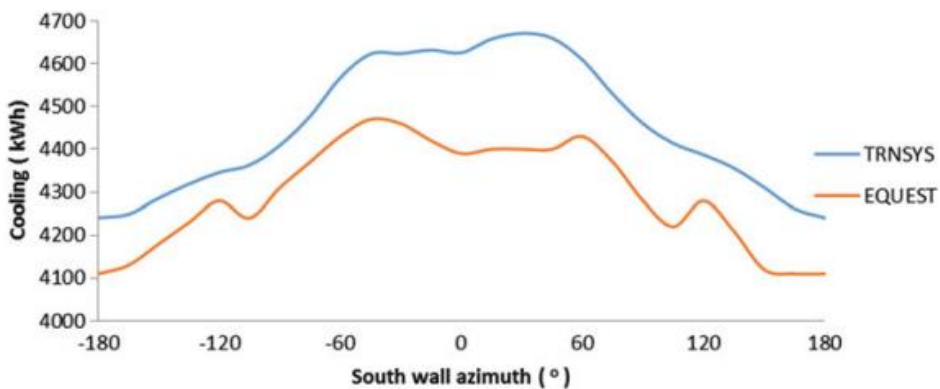
Wall construction	Thickness (cm)	Roof construction	Thickness (cm)	Ground construction	Thickness (cm)
ComBrick	10.15	Conc LW 30 lb	5.09	LightSoil, Damp	0.31
Polystyrene	7.62	Blt-UpRoof	0.95	Conc HW 140 lb	3.05
ComBrick	10.15	Polystyrene	7.62	Polystyrene	12.19
-		Conc HW 140 lb	15.24	-	

Στο Σχήμα 2.8 ÷ 2.9 έχει αποτυπωθεί η ψυκτική και θερμική κατανάλωση του κτιρίου για διαφορετικούς προσανατολισμούς. Αναφέρουν πως η διαφοροποίηση ανά περιστροφή οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη παραθύρων διαφορετικής επιφάνειας σε κάθε πλευρά, που επιδρά στην ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στον χώρο. Στα αποτελέσματα των δύο προγραμμάτων παρατηρείται επιπλέον μία απόκλιση μεταξύ τους ως προς την ακριβή τιμή τους που πηγάζει από την

διαφορετική μεθοδολογία υπολογισμού των καταναλώσεων, αλλά οι καμπύλες τους έχουν παραπλήσια μορφή.



Σχήμα 2.8: Ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση για διαφορετικούς προσανατολισμούς του κτιρίου [14]



Σχήμα 2.9: Ενεργειακή κατανάλωση για ψύξη για διαφορετικούς προσανατολισμούς του κτιρίου [14]

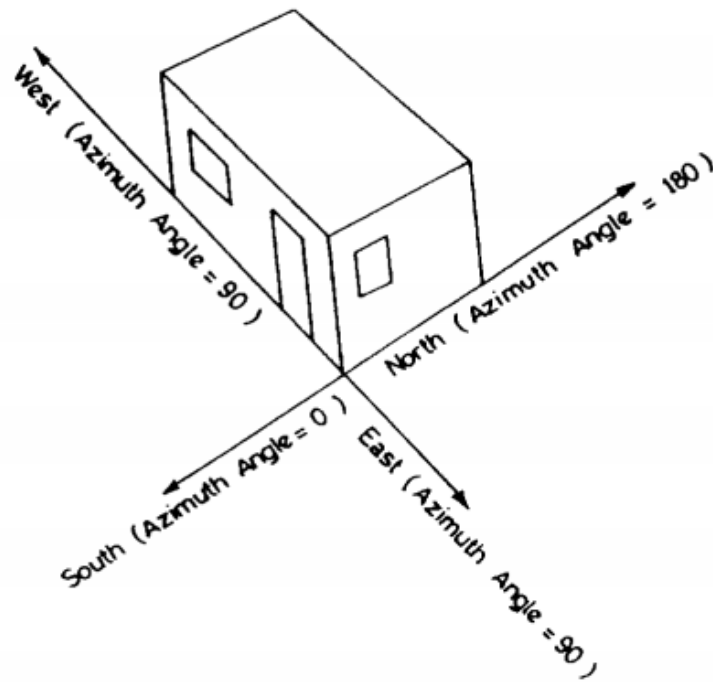
Με βάση τα αποτελέσματα των προαναφερθέντων ερευνητών είναι προφανής η επίδραση του προσανατολισμού του κτιρίου στην ενεργειακή κατανάλωση για ψύξη και θέρμανση.

2.4 Επίδραση μόνωσης κελύφους

Αναμφισβήτητα η μόνωση του κελύφους είναι καθοριστικός παράγοντας για την επίτευξη των επιθυμητών συνθηκών θερμοκρασίας και υγρασίας σε εσωτερικούς χώρους με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας. Το συγκεκριμένο ζήτημα έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές και στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα ορισμένων από αυτούς.

Σύμφωνα με τον M. A. E. Saleh (1989) [15], η παραδοσιακή τεχνική δόμησης ενός τυπικού κτιρίου στη Σαουδική Αραβία ήταν η κατασκευή πλίνθινων τοίχων (adobe wall) με πάχος περίπου 0.5 m. Στο συγκεκριμένο πάχος οφειλόταν το γεγονός ότι παρά την υψηλή θερμοκρασία του περιβάλλοντος, στο εσωτερικό του κτιρίου υπήρχε μία αρκετά χαμηλότερη θερμοκρασία, ανεκτή για τον άνθρωπο, καθώς η μεγάλη θερμοπερατότητα του τοίχου δεν επέτρεπε στη θερμότητα να μεταφερθεί στο εσωτερικό του. Με τον εκσυγχρονισμό, άλλαξε η δομή και τα υλικά κατασκευής των κτιρίων (προκατασκευασμένο σκυρόδεμα, οπτόπλινθοι, γθαλί κλπ) και δημιουργήθηκε η ανάγκη για εφαρμογή επιπλέον μόνωσης.

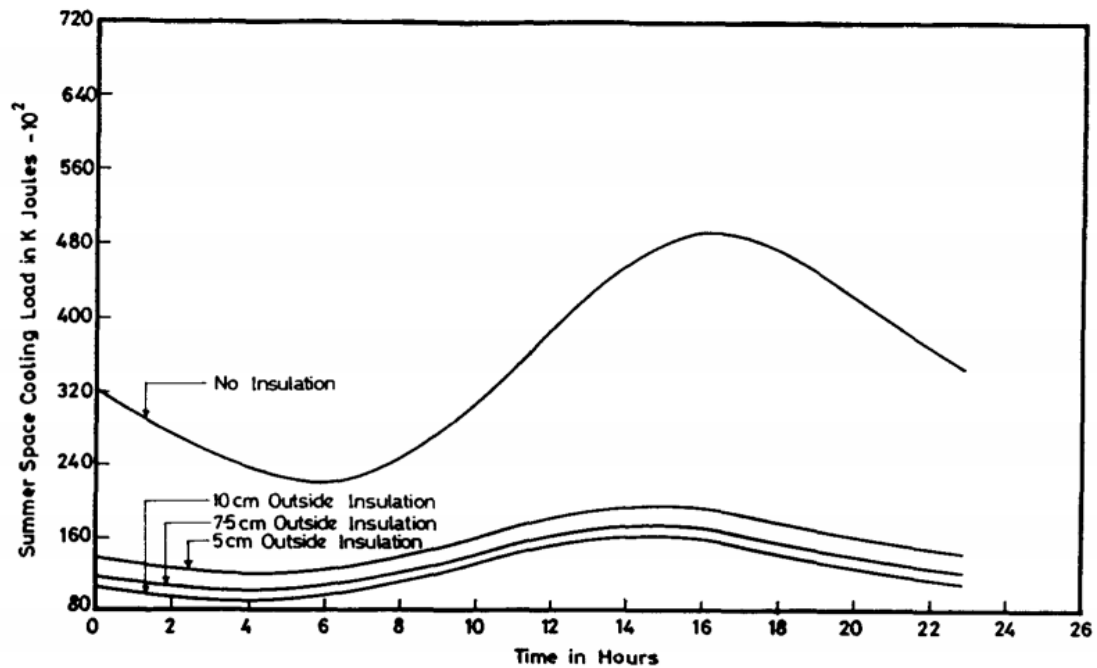
Ο Saleh (1989) μελέτησε την επίδραση της μόνωσης στην κατανάλωση ενός κτιρίου για ψύξη και θέρμανση ως προς το πάχος της αλλά και ως προς την τοποθέτησή της στην εσωτερική ή εξωτερική πλευρά του τοίχου. Για να εξάγει τα συμπεράσματά του έκανε χρήση του προγράμματος προσομοίωσης του National Bureau of Standards Load Determination. Ένα απλό σχεδιάγραμμα του οικήματος φαίνεται στο Σχήμα 2.10. Το σχήμα είναι ορθογωνικό, με διαστάσεις 13.71m x 9.14m x 2.75m, χαρακτηριστικού μεγέθους για μία οικογένεια 7 ατόμων. Ο λόγος κουφωμάτων προς την συνολική επιφάνεια του τοίχου για την ανατολική, νότια και δυτική πλευρά είναι 8%, ενώ για την βορινή 25%.



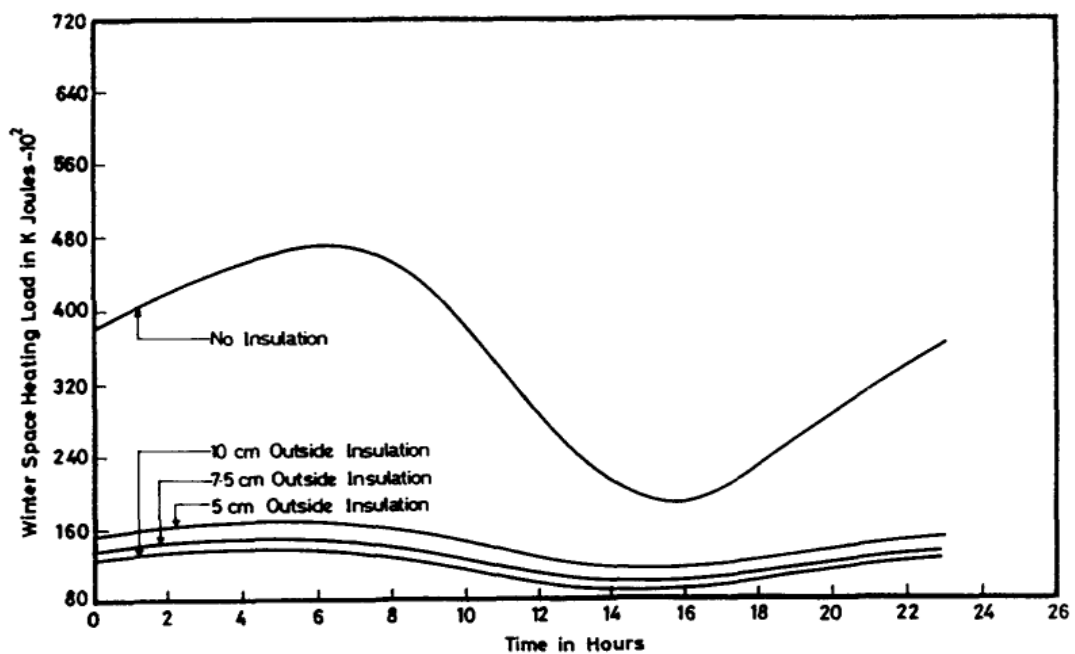
Σχήμα 2.10: Απλό σχεδιάγραμμα μοντελοποιημένου κτιρίου [15]

Το κλίμα χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες και ελάχιστη υγρασία, ενώ ο χειμώνας από χαμηλές θερμοκρασίες, χωρίς νεφώσεις και μέτρια υγρασία. Το μοντέλο προσομοιώθηκε για δύο τυπικές ημέρες και συγκεκριμένα την πιο θερμή ημέρα για την εκτίμηση των αναγκών ψύξης (46°C μέγιστη με 17°C διακύμανση) και αντίστοιχα την πιο ψυχρή (13°C με 7°C διακύμανση) για ανάγκες θέρμανσης. Η πιο ζεστή μέρα ήταν η 8^η Αυγούστου και η πιο ψυχρή η 11^η Ιανουαρίου.

Τα αποτελέσματα για την περίπτωση όπου η μόνωση βρίσκεται στην εξωτερική επιφάνεια παρουσιάζονται στα Σχήματα 2.11 ÷ 2.12. Παρατηρείται ότι με την αύξηση του πάχους της μόνωσης μειώνονται τα θερμικά φορτία τόσο για την ψύξη όσο και για την θέρμανση. Στην περίπτωση όπου η μόνωση βρίσκεται στην εσωτερική πλευρά του κτιρίου τα αποτελέσματα είναι ανάλογα με τη διαφορά ότι απαιτείται ελαφρώς μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας για την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας, δηλαδή η μόνωση είναι λιγότερο αποδοτική.

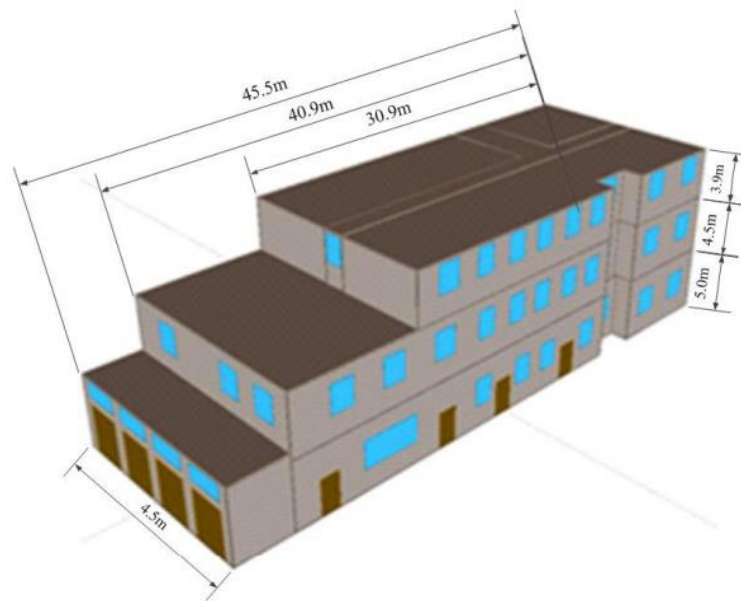


Σχήμα 2.11: Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης για ψύξη για διαφορετικά πάχη εξωτερικής μόνωσης (0cm, 5cm, 75cm, 10cm) την πιο ζεστή ημέρα του έτους [15]



Σχήμα 2.12: Σύγκριση ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση για διαφορετικά πάχη εξωτερικής μόνωσης (0cm, 5cm, 75cm, 10cm) την πιο κρύα ημέρα του έτους [15]

Οι Z. Lianying et al (2015) [16] μελέτησαν την επίδραση του πάχους μόνωσης στην ενεργειακή κατανάλωση για ψύξη και θέρμανση για εμπορικά κτίρια σε πέντε διαφορετικές πόλεις της Κίνας. Η μοντελοποίηση έγινε με χρήση του προγράμματος DeST, το οποίο δημιουργήθηκε από το πανεπιστήμιο της Tsinghua στην Κίνα από το 1980 [17]. Το κτίριο που μοντελοποιήθηκε φαίνεται στο Σχήμα 2.13. Είναι ένα εμπορικό κτίριο που βρίσκεται στην πόλη Χί'αν, Αποτελείται από τρεις ορόφους, με μήκος μειούμενο σε υψηλότερους ορόφους, ενώ το πλάτος και το ύψους κάθε ορόφου παραμένει σταθερό. Οι τοίχοι είναι κατασκευασμένοι από οπτόπλινθους και μόνωση πολυστερίνης μεταβλητού πάχους (0mm, 20mm, 40mm, 60mm, 80mm, 100mm), ενώ η οροφή από οπλισμένο σκυρόδεμα και ομοίως μεταβλητό πάχος μόνωσης (Πίνακας 2.9).



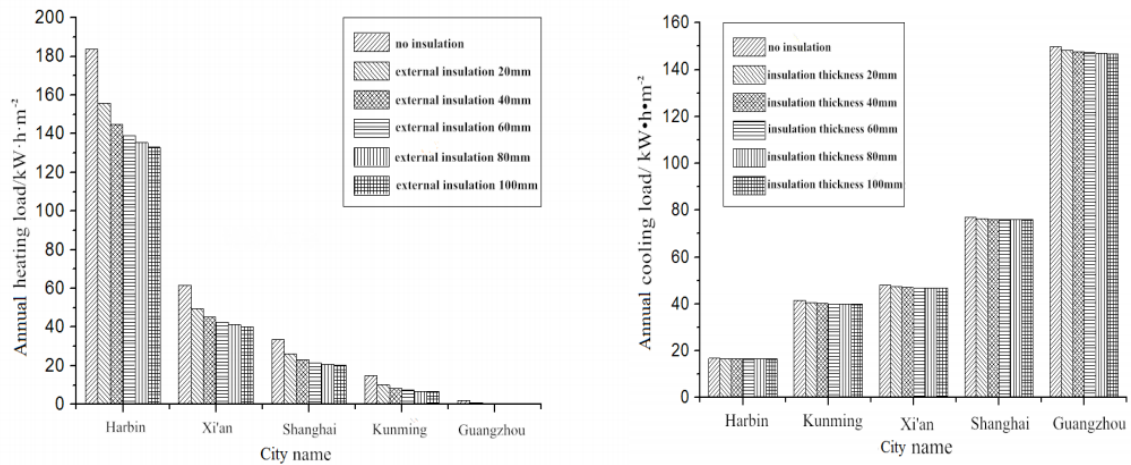
Σχήμα 2.13: Μοντελοποιημένο κτίριο με το πρόγραμμα Dest [16]

Πίνακας 2.9: Υλικά κελύφους [16]

Name	Constitution of enclosure Structure	Heat transfer coefficient/W·m ⁻² ·K ⁻¹	
External wall	20mm lime mortar +200mm solid clay brick + polystyrene board+ 20mm cement mortar	Polystyrene board 0mm	2.224
		Polystyrene board 20mm	1.143
		Polystyrene board 40mm	0.769
		Polystyrene board 60mm	0.579
		Polystyrene board 80mm	0.465
Roof	20mm cement mortar + 200mm reinforced concrete + 46 polystyrene board + 20mm cement mortar	Polystyrene board 100mm	0.388
			0.595
External windows	Common insulating glass	3.100	

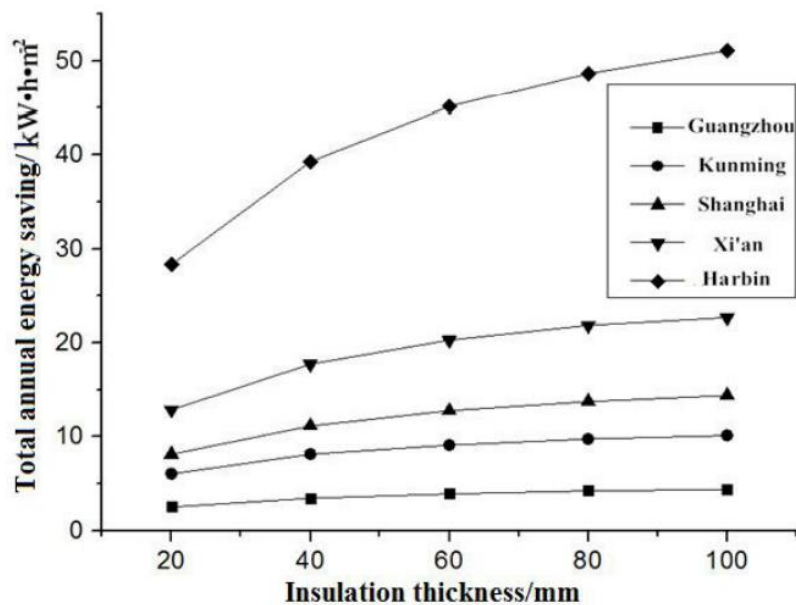
Εσωτερική θερμοκρασία ορίστηκαν οι 18°C για τον χειμώνα και οι 26° C το καλοκαίρι. Το κλίμα της Κίνας ανάλογα με την μέση θερμοκρασία του χειμώνα και του καλοκαιριού χωρίζεται σε 5 κατηγορίες. Για την προσομοίωση κάθε μίας κατηγορίας επιλέχθηκαν τα κλιματολογικά δεδομένα μίας αντιπροσωπευτικής πόλης της περιοχής. Η πόλεις που επιλέχθηκαν από αυτήν με το πιο ψυχρό κλίμα έως το πιο θερμό είναι οι Harbin, Xí'an, Shanghai, Kuming, Guangzhou.

Θεωρήθηκε ότι οι τοίχοι έχουν πολύ μικρότερο πάχος σε σχέση με τις υπόλοιπες διαστάσεις του κτιρίου και επομένως υπάρχει μόνο μονοδιάσταση μεταφορά θερμότητας και ότι τα υλικά δόμησης βρίσκονται σε απόλυτη επαφή μεταξύ τους οπότε δεν υπάρχει επιπλέον θερμική αντίσταση λόγω του αέρα. Επιπλέον δεν υπάρχει διαφοροποίηση των θερμικών ιδιοτήτων των υλικών ανάλογα την θερμοκρασία, με τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας να παραμένει σταθερό. Τέλος πρέπει να τονιστεί πως αμελήθηκαν τα εσωτερικά θερμικά φορτία λόγω φωτισμού, συσκευών, ανθρώπων κλπ. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο Σχήμα 2.14.



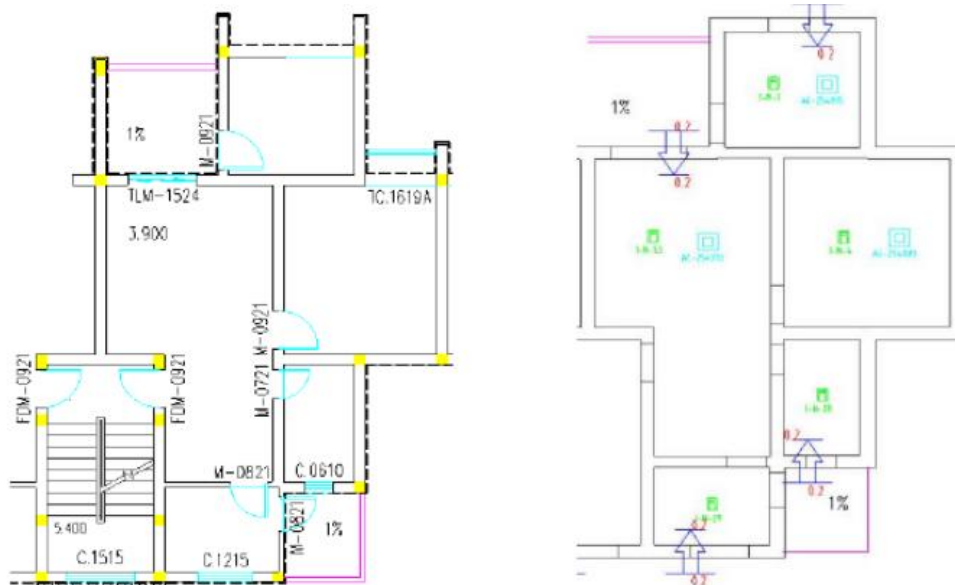
Σχήμα 2.14: Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση για ψύξη και θέρμανση για διαφορετικά πάχη μονώσεων, σε πέντε διαφορετικές πόλεις της Κίνας [16]

Παρατηρείται πως με την αύξηση του πάχους της μόνωσης, μειώνεται η απαιτούμενη κατανάλωση τόσο για ψύξη όσο και για θέρμανση σε όλες τις πόλεις ανεξαρτήτων κλίματος. Βέβαια σε πιο ψυχρά κλίματα η μείωση της ενέργειας για θέρμανση είναι σαφώς περισσότερο έντονη με την αύξηση της μόνωσης, ενώ τα ψυκτικά φορτία έχουν μικρή μείωση σε όλες τις περιπτώσεις. Στο Σχήμα 2.15 παρουσιάζεται η συνολικά εξοικονόμηση ενέργειας ενός κτιρίου με συγκεκριμένο πάχος μόνωσης σε σχέση με το ίδιο κτίριο χωρίς καθόλου μόνωση, συναρτήσει του πάχους μόνωσης. Διαπιστώνεται πως αυξάνονται τα ενεργειακά κέρδη με την αύξηση του πάχους της μόνωσης, αλλά με συνεχώς μειούμενο ρυθμό και εμφανίζουν τάση σταθεροποίησής τους.



Σχήμα 2.15: Ετήσια εξοικονόμηση στην κατανάλωση ενέργειας συνολικά για ψύξη και θέρμανση για διαφορετικά πάχη μόνωσης σε πέντε πόλεις της Κίνας [16]

Οι Y. Wang et al (2017) [17] μοντελοποίησαν μία κατοικία εμβαδού 85m² που βρίσκεται στην πόλη Chongqing της Κίνας. Το κτίριο έχει βόρειο προσανατολισμό και αποτελείται από ένα καθιστικό και δύο υπνοδωμάτια. Η πραγματική κάτοψη και του μονέλου φαίνονται στο Σχήμα 2.16. Ο χώρος του κλιμακοστασίου ο οποίος ήταν ημιυπαίθριος και μη κλιματιζόμενος επιλέχθηκε να μην συμπεριληφθεί στο μοντέλο. Ομοίως αγνοήθηκαν τα μπαλκόνια. Οι τοίχοι και η οροφή είναι κατασκευασμένοι από σπτόπλινθους, μονωμένους με εξηλασμένη πολυστερίνη (EPS) πάχους 30 mm και 40 mm αντίστοιχα (Πίνακας 2.10).



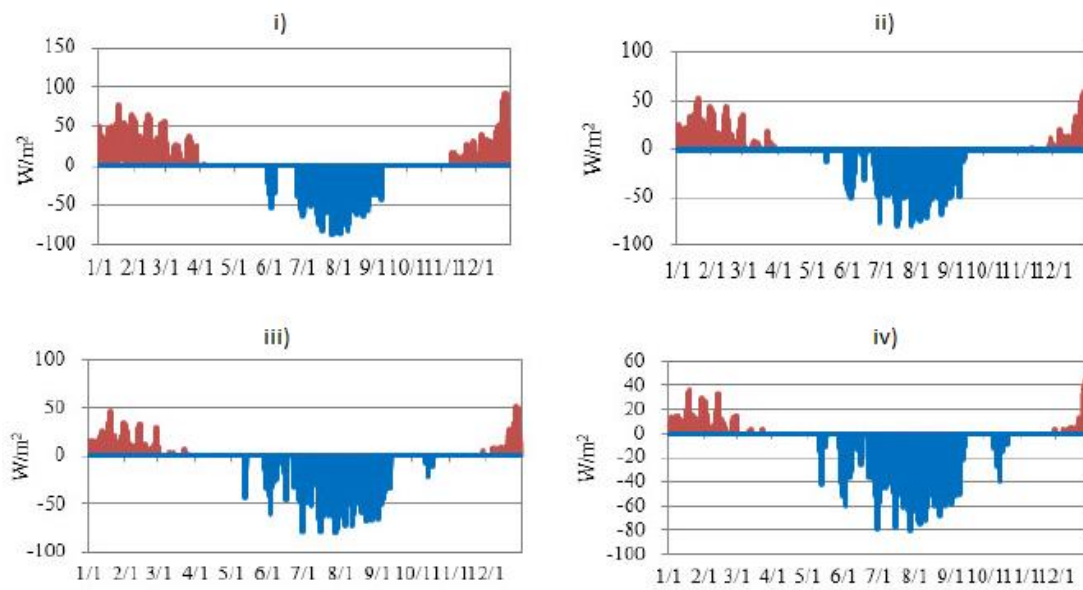
Σχήμα 2.16: Κάτοψη κτιρίου πραγματική και στο μοντέλο προσομοίωσης [17]

Πίνακας 2.10: Υλικά κελύφους [17]

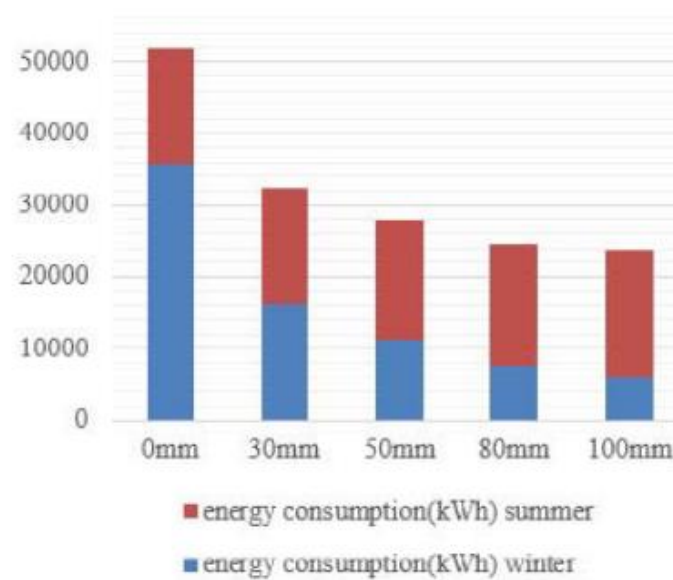
	Composition
External wall	Plasterer(5mm)+EPS(30mm)+ Plasterer(20mm)+ Shale cavity brick(200mm)+ Plasterer(20mm)
Internal wall	Plasterer(20mm) + Shale cavity brick(200mm)+ Plasterer(20mm)
Roof	Crushed stone concrete(40mm)+ Plasterer(20mm)+ EPS(40mm)+ Plasterer(20mm)+ Reinforced concrete(120mm)
Floor	Crushed stone concrete(30mm)+ Reinforced concrete(100mm)
Window	6+9A+6
Door	Wood based door

Η επιθυμητή θέρμανση πραγματοποιείται με καύση φυσικού αερίου ενώ η ψύξη με χρήση κλιματιστικών μονάδων τύπου split. Το σύστημα ψύξης και θέρμανσης δεν λειτουργεί καθ'όλη τη διάρκεια της μέρας, αλλά τις ώρες μεταξύ 8.00-12.00am και 14.00-18.00pm είναι ανενεργό. Παρατηρήθηκε πως μετά την παύση λειτουργίας των συστημάτων δεν διατηρείται για αρκετή ώρα η επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία και επιπλέον μετά την επανέναρξή τους, αργεί να επιτευχθεί.

Γι αυτό το λόγο, έγινε μία διερεύνηση με το πρόγραμμα Dest, της απαιτούμενης ενεργειακής κατανάλωσης συναρτήσει του πάχους μόνωσης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.17 ÷ 2.18. Να σημειωθεί ότι τα διαγράμματα έχουν αντίθετα χρώματα για την ψύξη και τη θέρμανση.



Σχήμα 2.17: Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση για πάχος μόνωσης 0mm-30mm-50mm-80mm. (με κόκκινο η θέρμανση, με μπλε η ψύξη) [17]



Σχήμα 2.18: Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση για πάχος μόνωσης 0mm-30mm-50mm-80mm. (με μπλε η θέρμανση, με κόκκινο η ψύξη) [17]

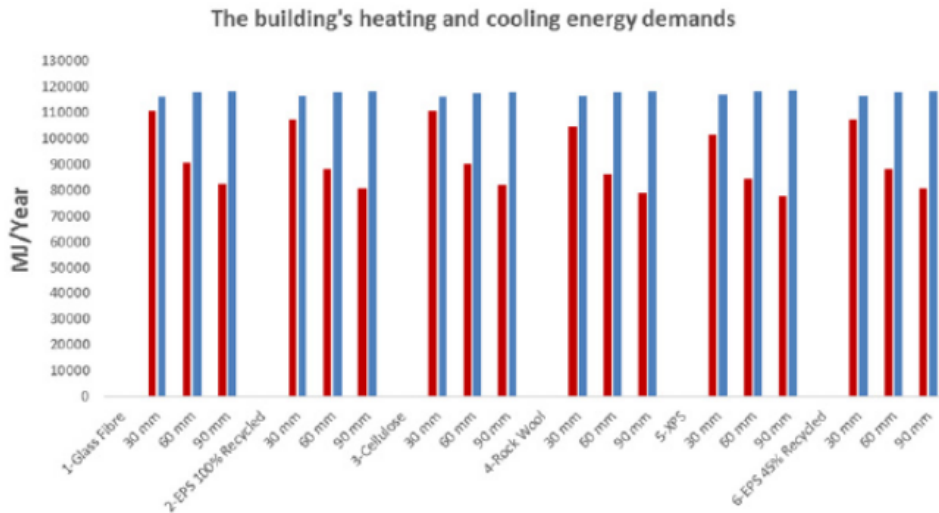
Με την αύξηση του πάχους μόνωσης, παρατηρείται μία σαφή μείωση τόσο της ενέργειας που απαιτείται για θέρμανση όσο και της συνολικής. Αντίθετα,

διαπιστώνεται μικρή αύξηση της κατανάλωσης για τις ανάγκες ψύξης, το οποίο έρχεται σε αντίθεση με όσα έχουν προαναφερθεί στην παρούσα ενότητα. Οι ερευνητές δεν κάνουν καμία αναφορά σε αυτή την αύξηση, αλλά αντίθετα εστιάζουν στην μείωση της θερμικής και της συνολικής ενέργειας.

Οι μελετητές T. B. Tabrizi et al (2017) [18] εξέτασαν την επίδραση έξι διαφορετικών υλικών μονώσεων με τρία διαφορετικά πάχη (30mm, 60mm και 90mm) στις ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη και για θέρμανση. Τα υλικά των μονώσεων είναι ο υαλοβάμβακας, η εξηλασμένη πολυστερίνη (EPS) με ανακυκλωμένο περιεχόμενο σε ποσοστό είτε 100% είτε 45%, η εξηλασμένη πολυστερίνη (XPS), ο πετροβάμβακας και ο ορυκτοβάμβακας.

Το κτίριο που μοντελοποιήθηκε είναι μία τετραόροφη κατοικία στο Σύδνευ της Αυστραλίας με ορθογωνικό σχήμα και συνολικό εμβαδόν 3135m². Οι τοίχοι αποτελούνται από τσιμεντοσανίδα, γυψοσανίδα, επίστρωση βαφής και ενδιάμεσα η μόνωση. Τα κουφώματα έχουν ξύλινο πλαίσιο και διπλό υαλοπίνακα. Ο λόγος της επιφάνειας κουφωμάτων προς την συνολική του τοίχου (WWR) είναι 40%.

Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας DOE. Ο συγκεκριμένος κώδικας έχει προεπιλεγμένες τιμές για όλες τις μεταβλητές όπως σύστημα HVSC, φωτισμός, κλπ. Οι μελετητές χρησιμοποίησαν αυτές τις τιμές και παραμέτρους για την μοντελοποίηση και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.19. Παρατηρείται ότι για όλα τα είδη μονώσεων η απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη αυξάνεται ελαφρώς με την αύξηση του πάχους της μόνωσης, ενώ για θέρμανση έχει σημαντική μείωση.



Σχήμα 2.19: Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου για ψύξη και θέρμανση για διαφορετικά είδη μονώσεων [18]

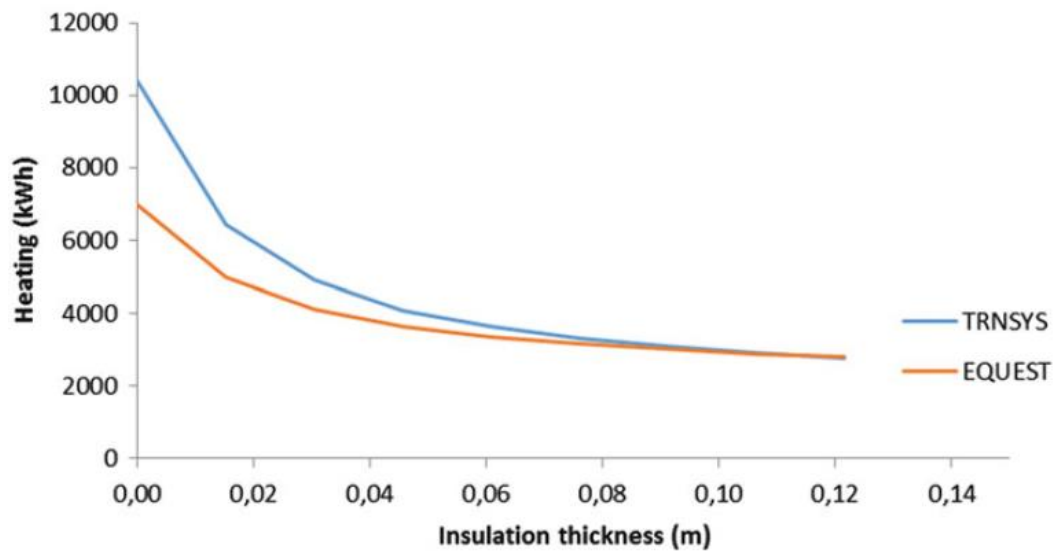
Η μελέτη και τα στοιχεία του κτιριακού μοντέλου που προσομοιώθηκε από τους E. Bellos et al (2016) [14], περιγράφηκε αναλυτικά στο υποκεφάλαιο 2.3, καθώς οι διερεύνησαν και την επίδραση του προσανατολισμού στην συνολική ενεργειακή κατανάλωση.

Επιπλέον αναφέρουν πως η εξωτερική μόνωση είναι ο παράγοντας με την μεγαλύτερη επίδραση στην εξοικονόμηση ενέργειας. Για τη μελέτη του φαινομένου εξέτασαν διαφορετικά πάχη μόνωσης, από 0cm έως 12cm, και υπολόγισαν μέσω των προγραμμάτων eQuest και TRNSYS τις ενεργειακές καταναλώσεις για ψύξη και θέρμανση. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο Σχήμα 2.20 ÷ 2.21.

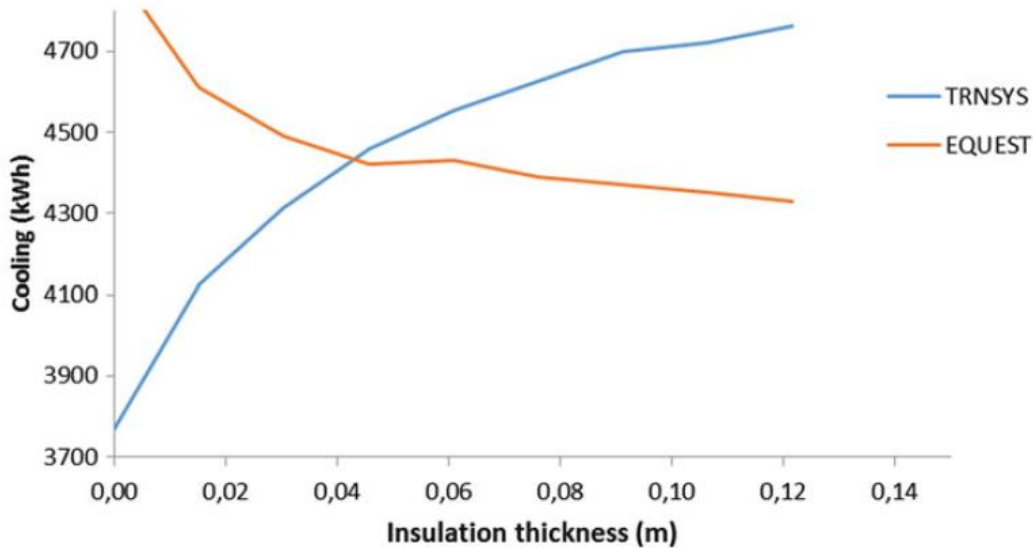
Όσον αφορά την απαιτούμενη θερμική ενέργεια τα δύο προγράμματα δίνουν παραπλήσια αποτελέσματα. Είναι προφανές ότι με την αύξηση του πάχους μόνωσης, μειώνεται η απαιτούμενη κατανάλωση. Μάλιστα από πάχος 8cm και μετά, τα αποτελέσματα από τους δύο διαφορετικούς κώδικες ταυτίζονται και η απαιτούμενη ενέργεια τείνει να σταθεροποιηθεί. Δηλαδή στην συγκεκριμένη περίπτωση το βέλτιστο πάχος μόνωσης είναι τα 8cm.

Όσον αφορά την απαιτούμενη κατανάλωση για ψύξη, τα αποτελέσματα των δύο προγραμμάτων είναι αντικρουόμενα. Το eQuest υπολογίζει μειούμενα ψυκτικά φορτία με την αύξηση του πάχους μόνωσης, ενώ το TRNSYS αυξανόμενα. Βέβαια η

απόκλιση είναι μικρή και στις δύο περιπτώσεις, αλλά πρέπει να σημειωθεί η αντίθετη κλίση των καμπυλών. Η εξήγηση που δίνεται από τους ερευνητές είναι ότι πιθανόν να οφείλεται στον διαφορετικό τρόπο υπολογισμού του ενεργειακού ισοζυγίου από το κάθε πρόγραμμα.



Σχήμα 2.20: Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου για θέρμανση για διαφορετικά πάχη μονώσεων [14]



Σχήμα 2.21: Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου για ψύξη για διαφορετικά πάχη μονώσεων [14]

Από τις ανωτέρω μελέτες διαπιστώνεται πως η αύξηση της μόνωσης επιδρά σημαντικά στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση ενός κτιρίου. Όσον αφορά την ψύξη, υπάρχουν αντικρουόμενες μελέτες όπου άλλες δείχνουν ότι μειώνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις ενώ σε άλλες παρουσιάζεται μία μικρή αύξηση. Συνολικά όμως, η ενέργεια που απαιτείται για ψύξη και θέρμανση μειώνεται σημαντικά.

2.5 Συμπεράσματα

Στο Κεφάλαιο αυτό, διερευνήθηκε αρχικά η δυνατότητα προγραμμάτων που υπολογίζουν την ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων για ψύξη και θέρμανση να προβλέψουν με ακρίβεια την απαιτούμενη ενέργεια σε βάθος χρόνου. Όπως αναφέρθηκε, στα μοντέλα εισάγονται στοιχεία από τον χρήστη όπως η γεωμετρία του κτιρίου, τα υλικά κατασκευής του, οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή ένα συγκεκριμένο έτος, το σύστημα HVAC, οι επιθυμητές εσωτερικές συνθήκες θερμοκρασίας κ.α.

Με βάση αυτά, κάθε πρόγραμμα εκτιμάει διαφορετικά τα απαιτούμενα θερμικά και ψυκτικά φορτία. Όμως δύο παράγοντες που επιδρούν καθοριστικά στην τελική

κατανάλωση και δεν μπορούν να προβλεφθούν, είναι ο ανθρώπινος παράγοντας και η διαφοροποίηση στις καιρικές συνθήκες σε διαφορετικά έτη. Όσον αφορά την συμπεριφορά του ανθρώπου (επιλογή επιθυμητής θερμοκρασίας και επίπεδο φωτισμού, χρήση περισσότερο ενεργοβόρων ή όχι συσκευών κ.α.) σύμφωνα με τους E. Delzendeh et al (2017) [6], καθορίζεται από κοινωνικο-οικονομικούς και προσωπικούς παράγοντες και προτείνεται να γίνει περαιτέρω μελέτη ώστε να αναπτυχθούν κατάλληλα μοντέλα συμπεριφοράς συναρτήσει αυτών των παραγόντων. Η μεταβολή των καιρικών συνθηκών στα διαφορετικά έτη μπορεί να μειωθεί και έως να εξαληφθεί, προσομοιώνοντας το κτίριο για διαφορετικά έτη του παρελθόντος και λαμβάνοντας τις μέσες τιμές ως τελική πρόβλεψη των καταναλώσεων. Γενικά, τα προγράμματα προσομοίωσης δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα όσον αφορά την ακριβή πρόβλεψη των καταναλώσεων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά το στάδιο μελέτης ενός κτιρίου για την επιλογή των βέλτιστων επιλογών ως προς την εκοικονόμηση ενέργειας.

Ο προσανατολισμός του κτιρίου, επιδρά σαφώς τόσο στα θερμικά όσο και στα ψυκτικά φορτία. Γι αυτό προτείνεται, αν υπάρχει δυνατότητα, να επιλέγεται η βέλτιστη χωροθέτηση του κτιρίου, ώστε να μειώνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις. Μάλιστα σύμφωνα με τους A. Boyano et al (2013) [11], μπορεί να επιτευχθεί μείωση έως 9% για τη θέρμανση και έως 3.5% για την ψύξη.

Η επίδραση της μόνωσης στην μείωση της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης είναι αδιαμφισβήτητη. Όμως όσον αφορά την ενέργεια που απαιτείται για ψύξη και θέρμανση ξεχωριστά, κάποιοι ερευνητές εκφράζουν αντικρουόμενα συμπεράσματα. Ο M. A. E. Saleh (1989) [15] και οι Z. Liang et al (2015) [16] εκτιμούν ότι με την αύξηση της μόνωσης, μειώνεται η απαιτούμενη κατανάλωση και ψύξη και για θέρμανση και συνεπώς και η συνολική. Τα αποτελέσματα των Y. Wang et al (2017) [17] και των T. B. Tabrizi et al (2017) [18] δείχνουν ότι με την αύξηση της μόνωσης μειώνονται έντονα οι απαιτήσεις για θέρμανση, αλλά υπάρχει μία μικρή αύξηση στις ψυκτικές απαιτήσεις. Οι E. Bellos et al (2016) [14] προσομοίωσαν το ίδιο κτίριο με δύο διαφορετικά προγράμματα προσομοίωσης και προέκυψε ότι με την αύξηση του πάχους μόνωσης στην μία περίπτωση υπήρχε αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης,

ενώ στην άλλη μείωση. Συνεπώς, απαιτείται διερεύνηση της επίδρασης της αύξησης της θερμικής αντίστασης του κελύφους στην απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη.

Σε κάθε περίπτωση βέβαια, παρατηρήθηκε σημαντική μείωση στην συνολικά απαιτούμενη ενέργεια, καθώς η εξοικονόμηση της θερμικής ενέργειας ήταν πολύ μεγάλη σε σχέση με την ενδεχόμενη αύξηση της ψυκτικής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ – **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ/ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ HVAC**

3.1 Γενικά

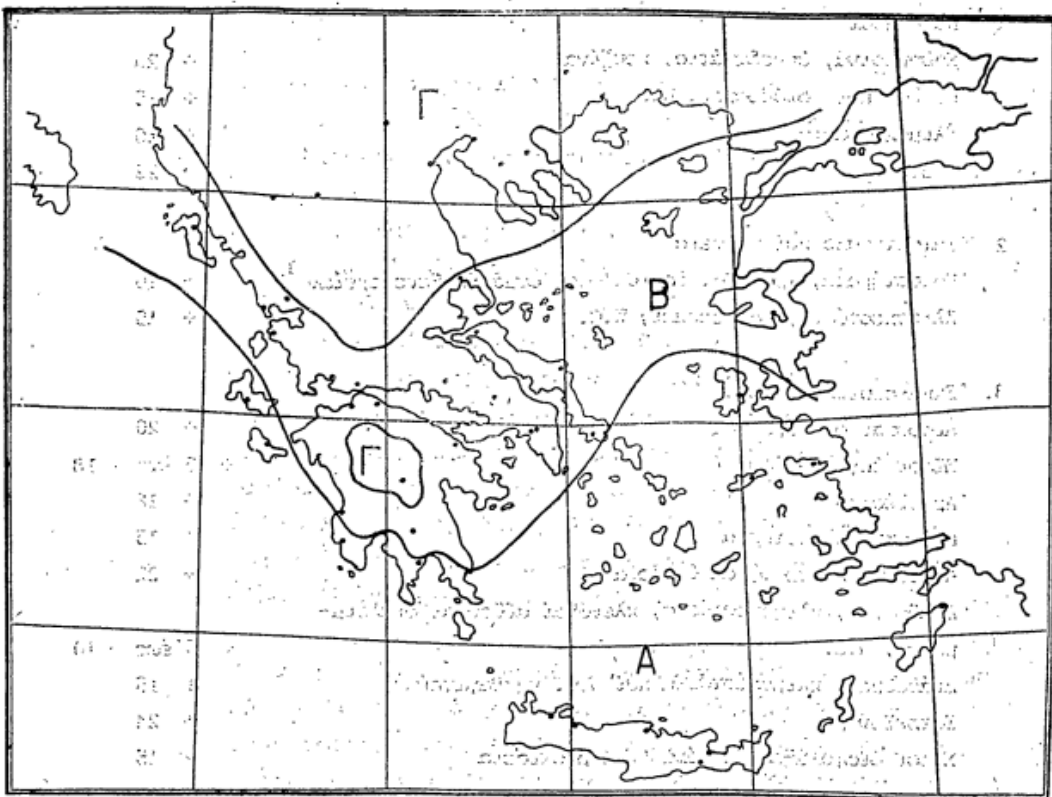
Τα περισσότερα κτίρια τα οποία έχουν κατασκευαστεί στην Ελλάδα, πληρούν τις απαιτήσεις είτε του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτιρίων (ΚΘΚ) [19], ο οποίος ήταν σε ισχύ την χρονική περίοδο 1980 – 2010, είτε των Τεχνικών Οδηγιών Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (ΤΟΤΕΕ) [20] οι οποίες εκδόθηκαν το 2010. Οι συγκεκριμένες οδηγίες αντικαταστάθηκαν το 2017, από νεώτερες, πιο απαιτητικές, οι οποίες όμως δεν θα εξεταστούν στην παρούσα διπλωματική. Στο κεφάλαιο αυτό αρχικά, παρουσιάζονται οι κανονισμοί αυτοί, αναφορικά με τις απαιτήσεις θερμομόνωσης που θα εφαρμοστούν στο μοντελοποιημένο κτίριο και γίνεται μία σύγκριση μεταξύ τους. Στη συνέχεια γίνεται μία σύντομη αναφορά των βασικών τμημάτων-επιμέρους μηχανημάτων (fan coil, air-cooled chiller, DX coil κλπ) τα οποία θα συμπεριληφθούν στα ολοκληρωμένα συστήματα HVAC του κτιρίου.

3.2 Κανονισμός θερμομόνωσης κτιρίων (ΚΘΚ, 1980)

Ο κανονισμός θερμομόνωσης κτιρίων (ΚΘΚ) [19] ήταν ο πρώτος κανονισμός που τέθηκε σε ισχύ στην Ελλάδα. Δημοσιεύτηκε στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως στις 4 Ιουλίου 1979 και έθεσε τις ελάχιστες απαιτήσεις που πρέπει να πληρούν τα κτίρια που κατασκευάζονταν, ως προς την θερμική τους μόνωση. Όπως ανέφερε, στόχος του ήταν η εξασφάλιση υγιεινής ατμόσφαιρας στους ενοίκους και η ορθολογική κατανάλωσης ενέργειας για την θέρμανση και τον κλιματισμό του κτιρίου. Τόνιζε πως η ενέργεια που απαιτείται για την διατήρηση συγκεκριμένης επιθυμητής θερμοκρασίας στον εσωτερικό χώρο ενός οικήματος σχετίζεται άμεσα αφ' ενός με την ποσότητα της θερμότητας που διαφεύγει από τα δομικά στοιχεία, ποσότητα η οποία εξαρτάται από την εγκατεστημένη θερμική μόνωση και αφ' ετέρου με τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής. Γινόταν μάλιστα ιδιαίτερη αναφορά, πως

απώτερος στόχος του κανονισμού ήταν η μείωση των παραγόμενων καυσαερίων και κατ'επέκταση η προστασία του περιβάλλοντος.

Η Ελλάδα σύμφωνα με τον κανονισμό χωριζόταν σε 3 ζώνες με κριτήριο την θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα κατά τη διάρκεια του χειμώνα και το χρονικό διάστημα το οποίο ήταν απαραίτητη η θέρμανση των εσωτερικών χώρων [Σχήμα 3.1]. Οι απαιτήσεις ψύξης δεν είχαν ληφθεί υπ' όψιν. Η Αθήνα ανήκε στην Ζώνη Β, που περιελάμβανε περιοχές με ούτε ιδιαίτερα ψυχρό ούτε ιδιαίτερα θερμό κλίμα.



Σχήμα 3.1: Σχηματική απεικόνιση κλιματικών ζωνών της ελληνικής επικράτειας σύμφωνα με τον ΚΘΚ (1969) [19]

Στις διαφορετικές ζώνες οι προδιαγραφές μόνωσης για τους εξωτερικούς τοίχους και για οριζόντιες επιφάνειες προς εξωτερικό χώρο όπως οροφές και πυλωτές δεν είχαν διαφοροποίηση. Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή θερμοπερατότητας ήταν τα $0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$ και τα $0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ αντίστοιχα. Αντίθετα διακύμανση παρουσίαζαν οι απαιτήσεις θερμοπερατότητας για δάπεδα που ήταν σε επαφή με έδαφος με μέγιστες

επιτρεπόμενες τιμές που κυμαίνονταν από 3.0 W/m²K έως 0.7 W/m²K για τις διαφορετικές Ζώνες. Προφανώς σε περιοχές με πιο ψυχρό κλίμα η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή θερμοπερατότητας ήταν η μικρότερη. Η θερμοπερατότητα συμβολιζόταν με το γράμμα k, αλλά στο εξής θα χρησιμοποιείται ο συμβολισμός U (U value), καθώς είναι αυτός που έχει επικρατήσει. Για τον υπολογισμό της θερμικής αντίστασης ενός δομικού στοιχείου δινόταν η γνωστή μαθηματική σχέση (3.1):

$$R = \frac{1}{U} = \frac{1}{a_i} + \left(\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \right) + \frac{1}{a_o} \quad (3.1)$$

όπου

R : η συνολική θερμική αντίσταση του δομικού στοιχείου συμπεριλαμβανομένου του αθροίσματος των αντιστάσεων του εκατέρωθεν αέρα (W/m²K)

U : η συνολική θερμική διαπερατότητα του δομικού στοιχείου συμπεριλαμβανομένου του αθροίσματος των αντιστάσεων του αέρα (W/m²K)

a_i , a_o : συντελεστές θερμικής διαπερατότητας εσωτερικού και εξωτερικού στρώματος αέρα (W/m²K)

$d_1, d_2 \dots d_n$: πάχος των στρώσεων των υλικών του δομικού στοιχείου (m)

$\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$: συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας υλικού (mK/W)

Ο συντελεστής a_o έπαιρνε την τιμή 5.81 W/m²K, ενώ η τιμή του a_i διαφοροποιούνταν ανάλογα με το είδος του δομικού στοιχείου λαμβάνοντας τιμές 0.12÷0.17 W/m²K. Ο κανονισμός περιείχε για συνήθη δομικά υλικά (οπτόπλονθους, σκυρόδεμα, πετροβάμβακας κλπ) ενδεικτικές τιμές του συντελεστή αγωγιμότητας λ.

Όσον αφορά τους υαλοπίνακες προτεινόταν η χρήση διπλών υαλοπινάκων για την πλευρά του οικίματος που επικρατούν οι ψυχροί άνεμοι για κτίρια της Ζώνης Β και για όλες τις πλευρές για κτίρια της Ζώνης Γ. Παρόλ' αυτά δεν υπήρχαν συγκεκριμένα επιτρεπόμενα ανώτατα όρια τιμών U values, παρά μόνο οι συγκεκριμένες συστάσεις.

Επιπλέον, αναφερόταν πως παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την απώλεια θερμότητας από ένα κτίριο, εκτός από την θερμική διαπερατότητα των δομικών του στοιχείων είναι η γειτνίασή του με άλλα κτίρια και η ύπαρξη δέντρων περιμετρικά τα οποία το προστατεύουν από τους ισχυρούς ανέμους.

Η εσωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού ήταν κατά μέσο όσο οι 20°C για τα διαφορετικά είδη εσωτερικών χώρων.

Να αναφερθεί πως στο τέλος του κανονισμού, υπήρχαν ενδεικτικά αριθμητικά παραδείγματα υπολογισμών θερμικής διαπερατότητας για διαφορετικά δομικά στοιχεία.

Στον Πίνακα 3.1 φαίνονται τα επιτρεπόμενα όρια των τιμών θερμοπερατότητας όπως ορίζονται από τον ΚΘΚ σε W/m²K. Επειδή το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί υπολογίζει για κάθε δομικό στοιχείο την θερμική αντίσταση σε ft²F/Btu, στις δύο επόμενες στήλες φαίνονται οι U-values και R σε μονάδες R_I.

Πίνακας 3.1: Ελάχιστες απαιτήσεις θερμομόνωσης για τα στοιχεία κελύφους σύμφωνα με τον ΚΘΚ [19]

Δομικό στοιχείο	U-value (W/m ² K)	U-value (Btu/ft ² F)	R (ft ² F/Btu)
Οροφή	0.50	0.088	11.36
Εξωτ. Τοίχος	0.70	0.123	8.13
Δάπεδο Εξωτ.	1.90	0.335	2.985
Ανοίγματα	-	-	-

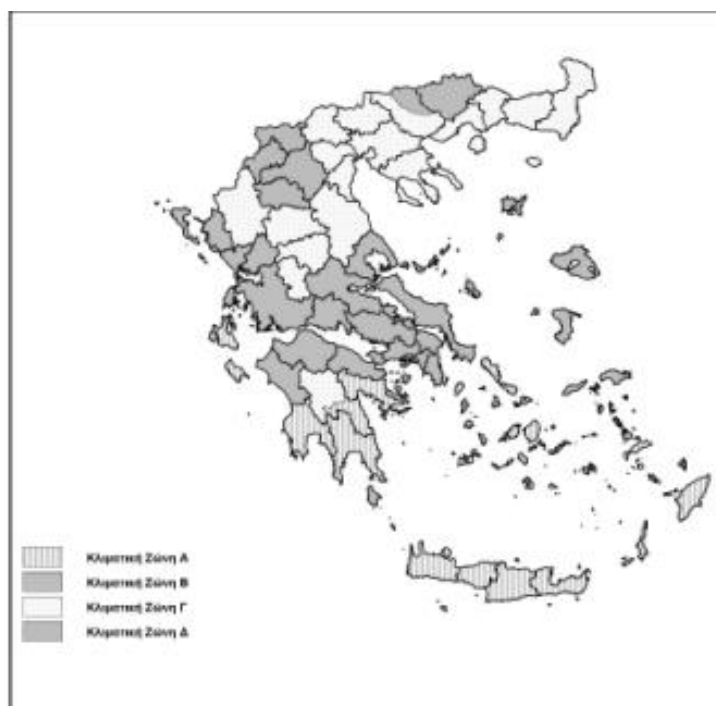
3.3 Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας (ΤΟΤΕΕ, 20701-2/2010)

Σαράντα χρόνια μετά την πρώτη οδηγία θερμομόνωσης στην Ελλάδα, δημοσιεύτηκε η Τεχνική Οδηγία του ΤΕΕ το 2010 [20], στην οποία περιλαμβάνονται οι αναθεωρημένες ελάχιστες απαιτήσεις θερμομόνωσης.

Η βασική διαφορά είναι ότι τα νέα όρια είναι πιο αυστηρά και πλέον επιβάλλονται ελάχιστες απαιτήσεις θερμοπερατότητας και για τα κουφώματα. Επιπλέον οι

κλιματικές ζώνες σύμφωνα και με τον ΚΕΝΑΚ αυξήθηκαν σε 4 (Σχήμα 3.2). Η βασική σχέση υπολογισμού της θερμικής αντίστασης (3.1) παραμένει η ίδια. Όμως ο κανονισμός όμως είναι πιο αναλυτικός για τα επιμέρους δομικά στοιχεία δηλαδή δίνει πρόσθετους συντελεστές για παράδειγμα ανάλογα με το είδος οροφής, ανάλογα την κλίση του φυσικού εδάφους, ανάλογα την ακριβή θέση τοποθέτησης της θερμομόνωσης κ.α.

Στον Πίνακα 3.2 φαίνονται τα αναθεωρημένα όρια τα αντίστοιχα του Πίνακα 3.1. Στον Πίνακα 3.3 συγκρίνονται τα όρια θερμοπερατότητας του ΚΘΚ και των ΤΟΤΕΕ 2010, για τα είδη δομικών στοιχείων που έχουν εφαρμογή στο κτίριο που θα μοντελοποιηθεί στην παρούσα εργασία.



Σχήμα 3.2: Σχηματική απεικόνιση κλιματικών ζωνών της ελληνικής επικράτειας [21]

Πίνακας 3.2: Ελάχιστες απαιτήσεις θερμομόνωσης για τα στοιχεία κελύφους σύμφωνα με τις ΤΟΤΕΕ 2010 (ΚΕΝΑΚ) [20]

Δομικό στοιχείο	U-value (W/m ² K)	U-value (Btu/ft ² F)	R (ft ² F/Btu)
Οροφή	0.45	0.079	12.658

Εξωτ. Τοίχος	0.50	0.088	11.36
Δάπεδο Εξωτ.	0.90	0.158	6.329
Ανοίγματα	3.00	0.528	1.893

Πίνακας 3.3: Σύγκριση_ελάχιστων απαιτήσεων θερμομόνωσης για τα στοιχεία κελύφους σύμφωνα με τον ΚΘΚ (1969) και τις ΤΟΤΤΕ 2010 (ΚΕΝΑΚ)

Δομικό στοιχείο	U-value (W/m ² K)	
	ΚΘΚ	ΤΕΕ
Οροφή	0.50	0.45
Εξωτ. Τοίχος	0.70	0.50
Δάπεδο Εξωτ.	1.90	0.90
Ανοίγματα	-	3.00

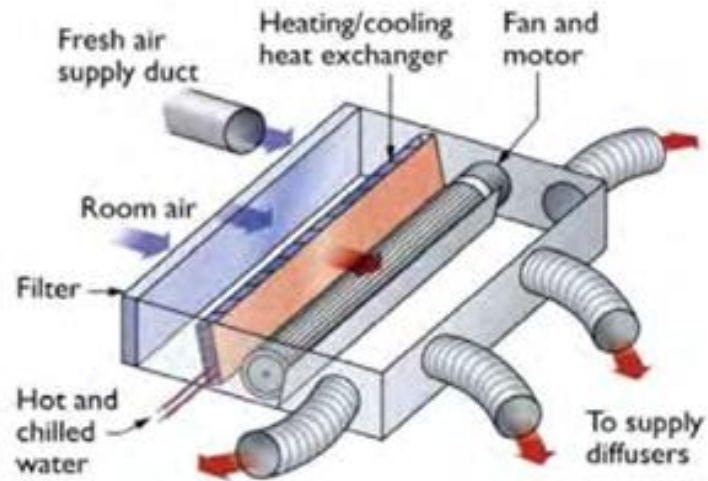
3.4 Επιμέρους τμήματα του συστήματος ψύξης-θέρμανσης HVAC

i) Fan coil (FC)

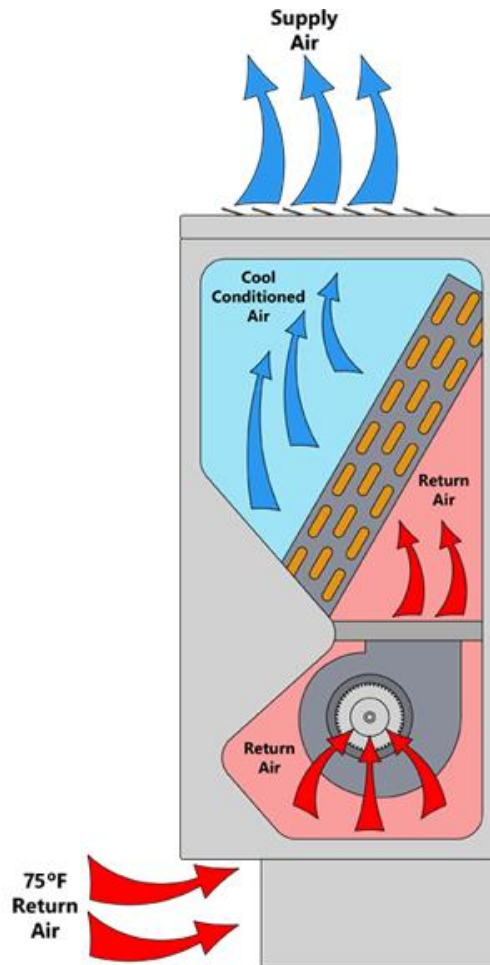
Με τον όρο “coils” αναφερόμαστε σε λεπτά μεταλλικά σωληνάκια τα οποία διαρρέονται από υγρό, συνήθως νερό, το οποίο βρίσκεται σε υψηλή ή χαμηλή θερμοκρασία, ανάλογα με το αν απαιτείται θέρμανση ή ψύξη του κτιρίου. Τα fan coils είναι ουσιαστικά ένας εναλλάκτης θερμότητας ανάμεσα στον αέρα που προσάγεται στον χώρο μέσω ενός ανεμιστήρα (fan) και το διαρρέον υγρό στα coils. Δεδομένου ότι έχει σχετικά απλή λειτουργία, είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο ως σύστημα ψύξης ή/και θέρμανσης. Μονάδες fan coils μπορούν να ενσωματωθούν στο κεντρικό σύστημα HVAC και να συνδεθούν με έναν κεντρικό ανεμιστήρα ώστε να ψύχουν/θερμαίνουν τον αέρα που εισέρχεται σε πολλαπλούς χώρους. Συνήθως σε ένα τέτοιο κεντρικό σύστημα υπάρχει είσοδος και νωπού αέρα στον χώρο. Στο Σχήμα 3.3 φαίνεται ο αέρας ο οποίος μέσω καναλιών προσπίπτει στα fancoils (αέρας επιστροφής και νωπός), συναλλάσσει θερμότητα μαζί τους και στην συνέχεια διαχέεται πάλι στον κλιματιζόμενο χώρο μέσω αεραγωγών (ducts).

Επιπλέον υπάρχουν τοπικές μονάδες fan coils (οριζόντιες ή κατακόρυφες) οι οποίες μεταβάλλουν τη θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα χωρίς να υπάρχει δυνατότητα εισαγωγής νωπού (Σχήμα 3.4). Προφανώς και σε μία τέτοια περίπτωση η χρήση φίλτρου είναι απαραίτητη. Ένα μειονέκτημα τους είναι ότι συνήθως είναι σχετικά δορυβώδη.

Τα fan coils συνδέονται με εξωτερικές διατάξεις η οποίες ψύχουν ή θερμαίνουν το διαρρέουν νερό (ηλεκτρικούς λέβητες, αερόψυκτους ή υγρόψυκτους ψύκτες κλπ) ώστε να εισέρχεται σε αυτά στην επιθυμητή θερμοκρασία.



Σχήμα 3.3: Πορεία αέρα μέσω κεντρικού Fan coil [22]

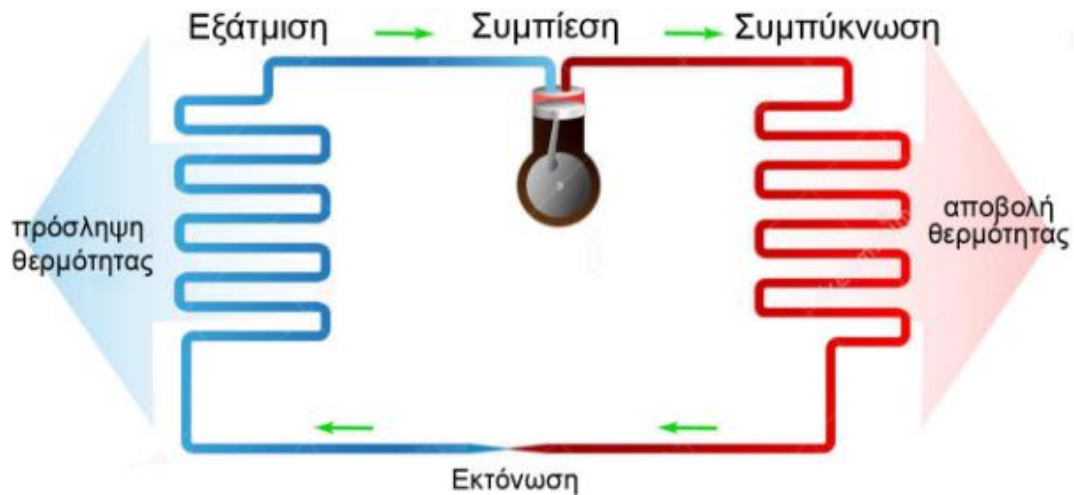


Σχήμα 3.4: Πορεία αέρα μέσω τοπικού Fan coil {4}

ii) Refrigerant Evaporator (DX) Coils

Refrigerant evaporator ή Direct Expansion Coils είναι λεπτά σωληνάκια τα οποία διαρρέονται από κατάλληλο ψυκτικό υγρό το οποίο συνδεδεμένο με μία εκτονωτική διάταξη, ένα συμπιεστή και εναλλάκτης θερμότητας, πραγματοποιεί διαρκώς τον κλασσικό κύκλο ψύξης (Σχήμα 3.5). Κατά τον ψυκτικό κύκλο, εξέρχεται το ψυκτικό μέσο από τον συμπιεστή σε αέρια φάση με υψηλή θερμοκρασία και πίεση, οδηγείται στον συμπυκνωτή όπου συναλλάσσει τη θερμότητα με το περιβάλλον, μειώνεται η θερμοκρασία του υπό σταθερή πίεση και μετατρέπεται σε (κορεσμένο) υγρό. Στη συνέχεια οδηγείται στην εκτονωτική/στραγγαλιστική διάταξη, από την οποία εξέρχεται με μειωμένη πίεση σε κατάσταση διμερούς φάσης (υπερτερεί η υγρή φάση). Τέλος μετατρέπεται σε αέρια κατάσταση στον αμφοιτητή, απορροφώντας

Θερμότητα με σταθερή πίεση από το περιβάλλον πριν εισέλθει ως κορεσμένο αέριο και πάλι στον συμπιεστή.



Σχήμα 3.5: Ψυκτικός κύκλος {5}

Επομένως η ψύξη μέσω των DX coils πραγματοποιείται όταν ο θερμός αέρας του κλιματιζόμενου χώρου προσπίπτει στον (ατμοποιητή) εξατμιστή, προσδίδει θερμότητα στο ψυκτικό υγρό το οποίο μετατρέπεται σε αέρια φάση και ο αέρας στη συνέχεια επιστρέφει με χαμηλότερη θερμοκρασία πίσω στο χώρο. Το ψυκτικό υγρό επομένως πρέπει να έχει χαμηλό σημείο βρασμού, ώστε να μετατρέπεται σε αέριο με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Φυσικά στη θέση του αέρα, στους εναλλάκτες θερμότητας (συμπυκνωτή, εξατμιστή), μπορεί να υπάρχει και άλλο μέσο όπως το νερό.

iii) Ψύκτης - Chiller

Υπάρχουν δύο είδη ψυκτών (chillers), οι υγρόψυκτοι (water-cooled chillers) και οι αερόψυκτοι (air-cooled chillers). Οι υγρόψυκτοι είναι πιο αποδοτικοί, αλλά πιο πολύπλοκοι στην λειτουργία καθώς συνδέονται με ένα δεύτερο κύκλωμα νερού (το οποίο οδηγείται σε έναν πύργο ψύξης – cooling tower) Επομένως απαιτούν μεγαλύτερο αρχικό κόστος εγκατάστασης και χώρο για την τοποθέτηση του πύργου

ψύξης. Οι αερόψυκτοι είναι λιγότεροι αποδοτικοί, αλλά λόγω του ότι είναι πιο εύχρηστοι, δεν απαιτούν επιπλέον εξοπλισμό, απαιτούν λιγότερο διαθέσιμο χώρο και είναι πιο οικονομικοί στην εγκατάστασή τους, προτιμώνται συχνά για μικρού και μεσαίου μεγέθους κτίρια (Σχήμα 3.6) {6}.



Air Cooled



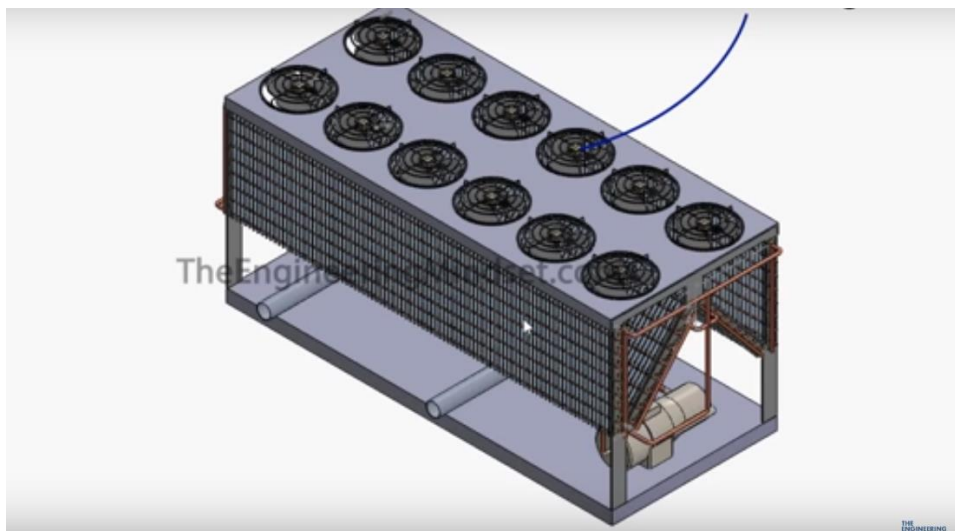
Water Cooled

Σχήμα 3.6: Αερόψυκτος και υδρόψυκτος ψύκτης {6}

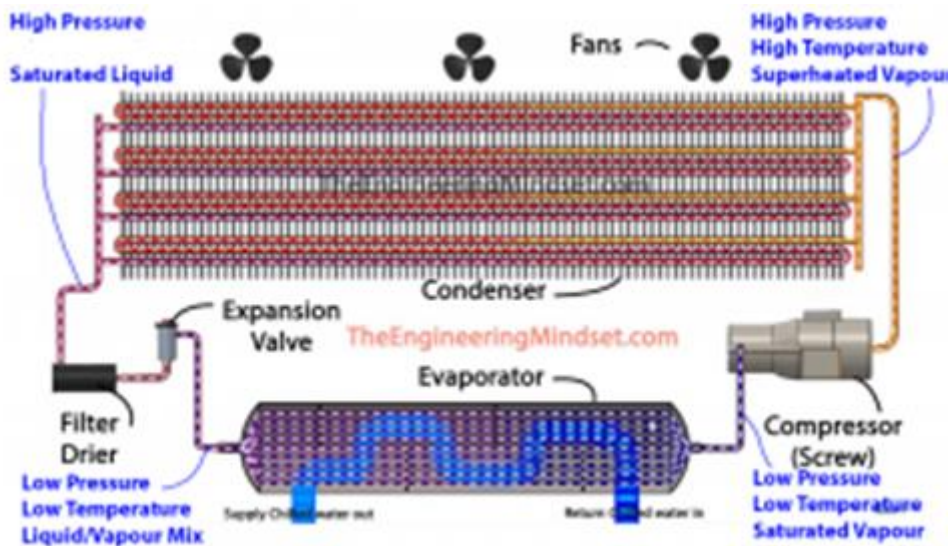
Κατόπιν περιγράφεται η λειτουργία των αερόψυκτων, γιατί με τους συγκεκριμένους ασχολείται η συγκεκριμένη διπλωματική.

Οι αερόψυκτοι (Σχήμα 3.7) αποδίδουν την θερμότητα που λαμβάνουν από τον κλιματιζόμενο χώρο, στο περιβάλλον όπου τοποθετούνται. Γι αυτό το λόγο συνήθως συναντώνται στις οροφές των κτιρίων. Στόχος τους είναι να ψύξουν το ζεστό νερό το οποίο επιστρέφει από κλιματιστικές μονάδες όπως οι FCU και οι AHU. Στο Σχήμα 3.8 φαίνεται η διάταξη λειτουργίας ενός αερόψυκτου ψύκτη. Αποτελείται από τα εξής κύρια μέρη: έναν συμπιεστή, έναν συμπυκνωτή, μία εκτονωτική/στραγγαλιστική διάταξη και έναν εξατμιστή, από τα οποία διέρχεται κατάλληλο ψυκτικό υγρό το οποίο πραγματοποιεί τον κλασικό κύκλο ψύξεως που περιγράφεται ανωτέρω. Η ψύξη πραγματοποιείται στον εξατμιστή, στον οποίο το ζεστό νερό από τις κλιματιστικές μονάδες μεταφέρει τη θερμότητά του στο ψυκτικό υγρό. Ο εξατμιστής είναι ουσιαστικά ένας εναλλάκτης αντιρροής στον οποίο το ψυκτικό μέσο βρίσκεται μέσα

σε σωληνάκια ενώ το ψυχόμενο νερό υπάρχει στο κέλυφος. Έχει παρατηρηθεί πως υπάρχει καλύτερη εναλλαγή θερμότητας όταν η ροή είναι τυρβώδης. Γι αυτό υπάρχουν μέσα στον εναλλάκτη που ανακόπτουν την ροή και τελικά το νερό μέσα ακολουθεί μία οφιοειδή πορεία και όχι μία γραμμική όπως θα ήταν αναμενόμενο. Το κυριότερο χαρακτηριστικό των αερόψυκτων ψυγείων, όμως είναι οι ανεμιστήρες του συμπυκνωτή (condenser cooling fans), οι οποίοι απορροφούν αέρα από τα πλαινά του ψύκτη και τον οδηγούν στο πάνω μέρος της συσκευής. Έτσι με εξαναγκασμένη ροή, υπάρχει μεταφορά θερμότητας μεταξύ του αέρα και του ψυκτικού υγρού, το οποίο αποβάλλει τη θερμότητά του υπό σταθερή πίεση {7}.



Σχήμα 3.7: Σχέδιο διάταξης αερόψυκτου ψύκτη {7}



Σχήμα 3.8: Διάταξη λειτουργίας ενός αερόψυκτου ψύκτη {7}

iv) Θερμαντήρας με Ηλεκτρική αντίσταση

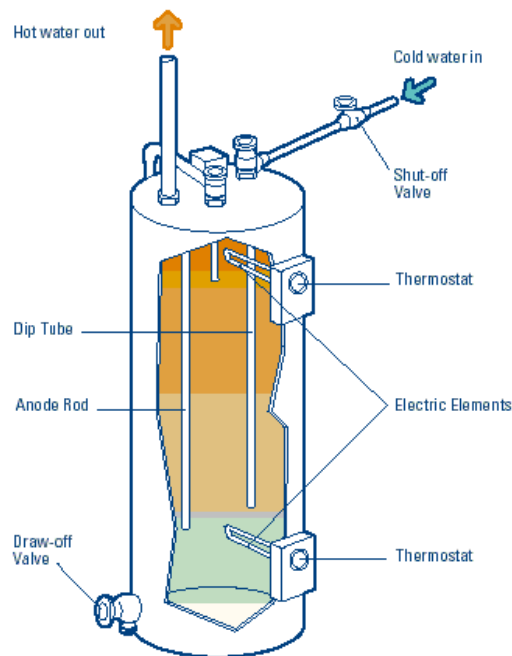
Τα θερμαντικά σώματα με ηλεκτρικές αντιστάσεις είναι από τους πιο διαδεδομένους μεμονωμένους τρόπος θέρμανσης ενός οικιακού χώρου. Ακόμα και σε επαγγελματικούς χώρους, όμως συναντάται καθώς είναι απλοί στην λειτουργία τους και την εγκατάστασή τους. Οι θερμαντήρες αποτελούνται από ηλεκτρικές αντιστάσεις, οι οποίες όταν διαρρέονται από ρεύμα, αυξάνεται η θερμοκρασία τους. Με αυτό τον τρόπο η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική.

Η μεταφορά θερμότητας στον χώρο πραγματοποιείται με ακτινοβολία και με συναγωγή. Στην περίπτωση της συναγωγής μπορεί να είναι φυσική (ο θερμός αέρας επειδή είναι ελαφρύτερος ανεβαίνει προς τα πάνω) ή εξαναγκασμένη με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα ο οποίος επιταχύνει τον αέρα ο οποίος διέρχεται από την αντίσταση και στη συνέχεια τον οδηγεί στον χώρο προς θέρμανση.

Οι θερμαντήρες μπορεί να είναι είτε σε μεγάλες κεντρικές μονάδες οι οποίες θερμαίνουν τον αέρα ο οποίος στη συνέχεια μέσω αεραγωγών οδηγείται σε ξεχωριστούς χώρους, είτε είναι μεμονωμένες μονάδες σε κάθε χώρο οι οποίες θερμαίνουν μόνο τον αέρα του συγκεκριμένου χώρου {8}, {9}.

ν) Ηλεκτρικό Μπόιλερ

Το ηλεκτρικό μπόιλερ (θερμαντήρας νερού) είναι συσκευή η οποία εξυπηρετεί τις ανάγκες θέρμανσης νερού για διάφορες χρήσεις. Αποτελείται από ένα δοχείο το οποίο γεμίζει με νερό δικτύου που έχει σχετικά χαμηλή θερμοκρασία. Στο δοχείο υπάρχουν ηλεκτρικές αντιστάσεις οι οποίες όπως αναφέρθηκε, όταν διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα και αυξάνουν την θερμοκρασία τους. Η θερμότητα αυτή στη συνέχεια μεταφέρεται στο νερό του οποίου η θερμοκρασία ρυθμίζεται από έναν θερμοστάτη. Η λειτουργία του συνεπώς είναι απλή. Στο Σχήμα 3.9 φαίνονται τα βασικά του στοιχεία.



Σχήμα 3.9 : Ηλεκτρικό Boiler {10}

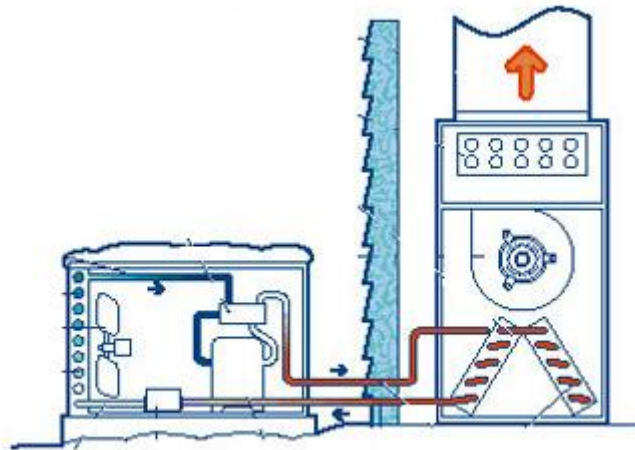
vi) Αντλία θερμότητας

Αντλία θερμότητας είναι η μηχανολογική διάταξη μέσω της οποίας μεταφέρεται θερμότητα (θερμική ενέργεια) από ένα χώρο χαμηλής θερμοκρασίας σε έναν χώρο υψηλότερης θερμοκρασίας. Από τον ορισμό, γίνεται φανερό ότι οι αντλίες θερμότητας σχεδιάζονται για να μεταφέρουν θερμότητα (θερμική ενέργεια) με φορά αντίθετη από αυτήν της φυσικής ροής. Για την μεταφορά αυτή, απαιτείται

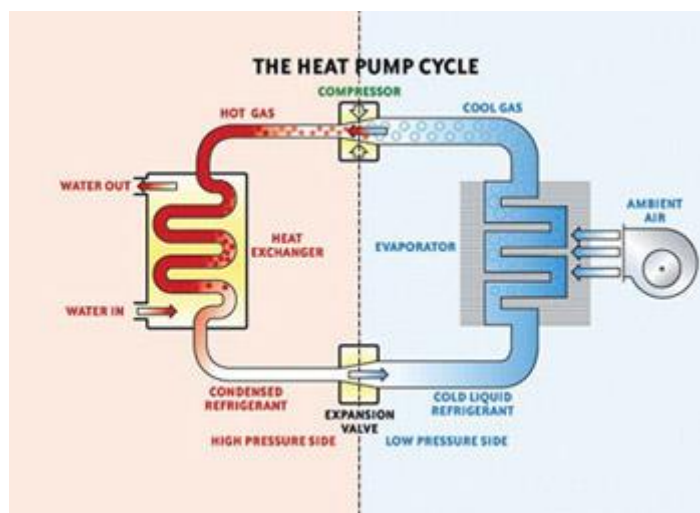
κατανάλωση ενέργειας. Στις αντλίες θερμότητας το ψυκτικό υγρό εκτελεί αενάως τον ψυκτικό κύκλο που περιγράφηκε προηγουμένως (Σχήμα 3.5)

Υπάρχουν 4 είδη αντλιών θερμότητας: οι αντλίες θερμότητας αέρος-αέρος, αέρος-νερού, νερού-νερού και οι γεωθερμικές που ουσιαστικά είναι υποκατηγορία του τύπου νερού-νερού. Οι αντλίες θερμότητας αέρα αέρα έχουν δύο εναλλάκτες θερμότητας ψυκτικού υγρού και αέρα. Τα γνωστά κλιματιστικά διαιρούμενου τύπου (split type) είναι αντλίες θερμότητας αέρα αέρα (Σχήμα 3.10).

Οι αντλίες θερμότητας νερού αέρα-στην μια πλευρά (Σχήμα 3.11) έχουν εναλλάκτη ψυκτικού μέσου / νερού και αφαιρούν θερμότητα (ψύχουν νερό) αντί για αέρα. Με τις αντλίες αυτές δηλαδή, μπορούμε να αντλούμε θερμότητα (και άρα να ψύχουμε νερό) και να την αποβάλλουμε στο περιβάλλον (όπως γίνεται και στα κλιματιστικά μηχανήματα της προηγούμενης κατηγορίας). Στις αντλίες νερού και οι δύο εναλλάκτες είναι εναλλάκτες νερού, και το ψυκτικό μέσο μεταφέρει θερμότητα από τη μια μάζα νερού στην άλλη. Τέτοιες αντλίες, είναι οι υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας με πύργο ψύξης {11}.



Σχήμα 3.10 : Αντλία θερμότητας αέρα αέρα {11}



Σχήμα 3.11 : Αντλία θερμότητας αέρα νερού {11}

3.5 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν και συγκρίθηκαν οι απαιτήσεις θερμομόνωσης των κανονισμών ΚΘΚ [19] και ΤΟΤΕΕ 2010 [20]. Με τον νεότερο κανονισμό οι απαιτήσεις για τους εξωτερικούς τοίχους και τις οροφές έγιναν πιο αυστηρές, ενώ εισήχθησαν απαιτήσεις για τα κουφώματα, που προηγουμένως δεν υπήρχαν. Επιπλέον η Ελλάδα με τις ΤΟΤΕΕ 2010 χωρίστηκε σε τέσσερις κλιματικές ζώνες, ενώ ο ΚΘΚ καθόριζε τρεις ζώνες.

Επιπλέον έγινε μία σύντομη περιγραφή βασικών μηχανημάτων και εξαρτημάτων τους τα οποία θα συμπεριληφθούν στα ολοκληρωμένα συστήματα HVAC, τα οποία θα προσομοιωθούν στο ενεργειακό μοντέλο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ eQuest – ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

4.1 Γενικά

Στο Κεφάλαιο αυτό, αρχικά γίνεται μία σύντομη παρουσίαση του λογισμικού, το οποίο θα χρησιμοποιεί για τη μοντελοποίηση ενδεικτικού κτιρίου και την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την επίδραση της θερμομόνωσης του κελύφους, του προσανατολισμού του κτιρίου και των διαφορετικών τύπων συστημάτων HVAC, στην απαιτούμενη ενεργειακή κατανάλωση. Στη συνέχεια περιγράφεται λεπτομερώς η διαδικασία εισαγωγής των δεδομένων του κτιρίου τα οποία παραμένουν αμετάβλητα, στα διαφορετικά ‘σενάρια’ προσομοίωσης, που θα παρουσιαστούν στο Κεφάλαιο 4.

4.2 Λογισμικό eQuest

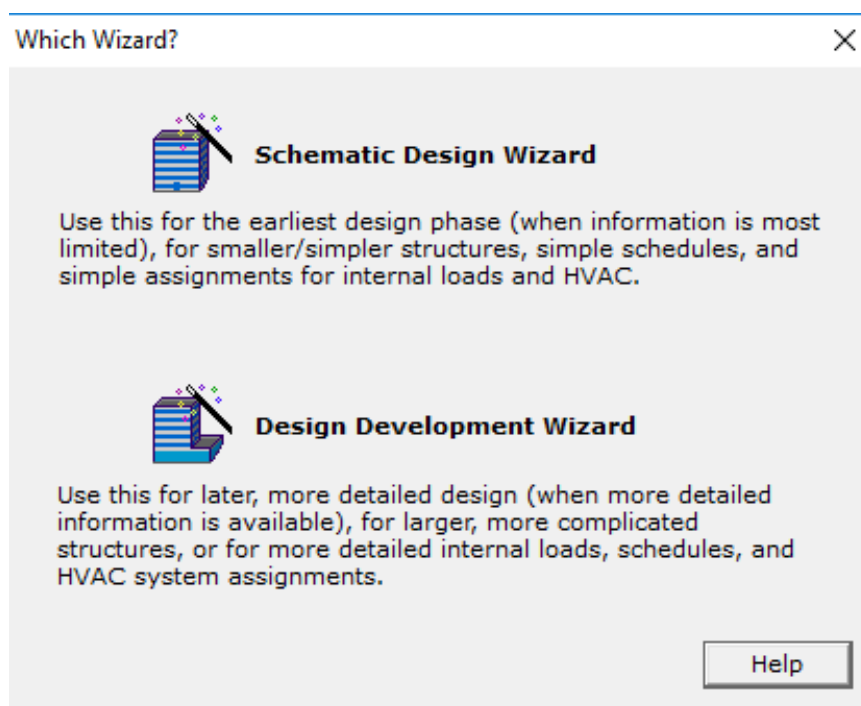
Το λογισμικό eQuest, το οποίο είναι ένα δωρεάν λογισμικό που δημιουργήθηκε από το United States Department of Energy (USDOE) και το οποίο υπολογίζει την ωριαία κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου για έναν ολόκληρο χρόνο (8.760 ώρες), χρησιμοποιώντας τα καιρικά δεδομένα της περιοχής [23].

Υπάρχουν δύο βασικές πλατφόρμες στις οποίες μπορεί να δουλέψει ο χρήστης, την Schematic Design Wizard (SD) και την Design Development Wizard (DD) (Σχήμα 4.1).

- Η Schematic Design Wizard (SD) είναι καταλληλότερη για εξαγωγή συμπερασμάτων για απλά/μικρά κτίρια που είτε βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο των μελετών είτε δεν έχουν πολύπλοκο σχεδιασμό όσον αφορά τον προγραμματισμό του συστήματος λειτουργίας HVAC, φωτισμού κλπ.
- Η Design Development Wizard (DD) παρέχει περισσότερες δυνατότητες στον χρήστη καθώς μπορεί να μοντελοποιήσει πολυπλοκότερες κατασκευές και προγράμματα λειτουργίας των ΗΜ συστημάτων όπως διαφορετικές ώρες

λειτουργίας σε συγκεκριμένα τμήματα του κτιρίου, διαφορετικές κατόψεις ανά όροφο κλπ.

Ουσιαστικά και στις δύο πλατφόρμες απαιτείται να εισαχθούν οι ίδιου τύπου πληροφορίες, απλά στην SD μπορούν να μοντελοποιηθούν πολυπλοκότερα συστήματα. Είναι η πρώτη επιλογή που πρέπει να κάνει ο χρήστης δημιουργώντας ένα καινούριο μοντέλο στο πρόγραμμα [2].



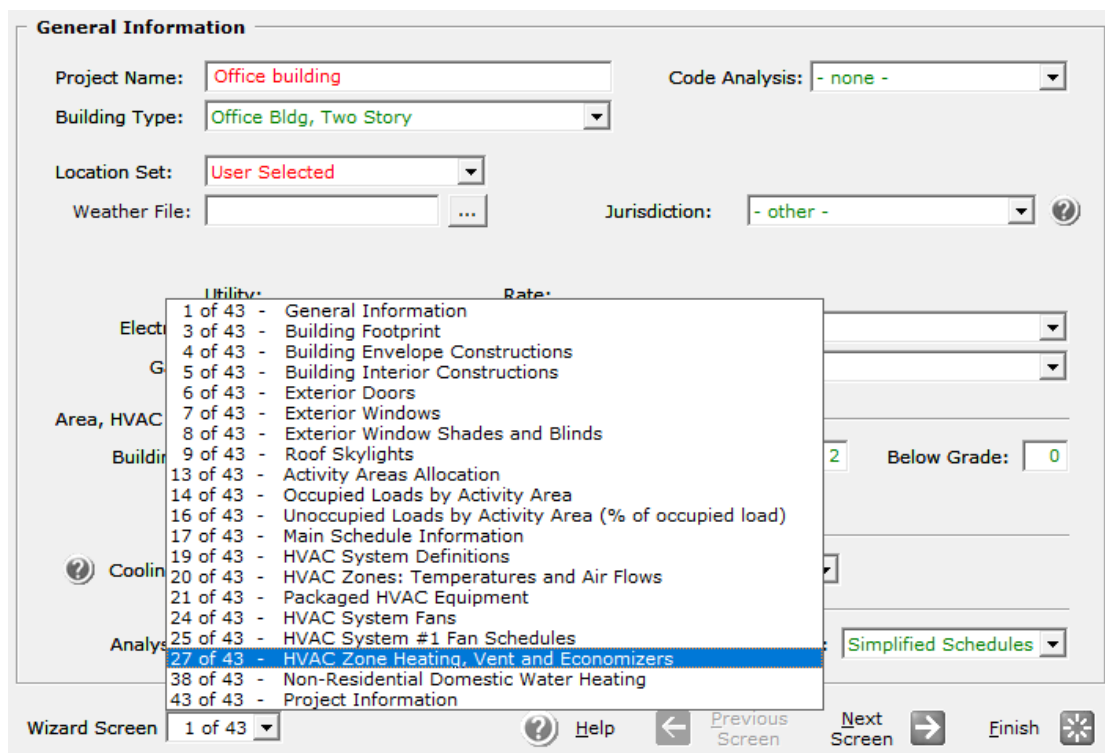
Σχήμα 4.1: Επιλογή πλατφόρμας στο eQuest

Και στις δύο πλατφόρμες πρέπει να εισαχθούν δεδομένα όπως:

- Γενικές πληροφορίες για το κτίριο που περιλαμβάνουν τον τύπο του κτιρίου (γραφείο, σχολείο κλπ), το μέγεθός του, μετεωρολογικές συνθήκες κλπ
- Γεωμετρία του κτιρίου (κατόψεις, ύψος ορόφου, προσανατολισμός κλπ)
- Υλικά κατασκευής οριζόντιων και κατακόρυφων δομικών στοιχείων
- Υλικά και διαστάσεις κουφωμάτων
- Έκταση επιμέρους χώρων (πχ γραφεία, διάδρομοι, αίθουσες συσκέψεων κλπ), άτομα που βρίσκονται σε κάθε χώρο κλπ

- Τύπος εξοπλισμού του συτήματος HVAC και παραγωγής ΖΝΧ
- Ωράριο λειτουργίας του κτιρίου και των διαφόρων συστημάτων του

Αυτές οι πληροφορίες εισάγονται μέσω καρτελών οι οποίες συμπληρώνονται διαδοχικά. Ο μέγιστος αριθμός καρτελών είναι σαράντα τρεις (Σχήμα 4.2). Όμως το eQuest για να διευκολύνει τον χρήστη και να μειώσει την πιθανότητα λάθους εισαγωγής δεδομένων, εμφανίζει μόνος τις καρτέλες που πρέπει να συμπληρωθούν ανάλογα με τις επιλογές για το κτίριο που έχουν γίνει ήδη. Για παράδειγμα αν επιλεγθεί ως σύστημα ψύξης fan coils με έναν αερόψυκτο ψύκτη (air-cooled chiller), δεν θα εμφανιστεί η καρτέλα που περιλαμβάνει προδιαγραφές και στοιχεία λειτουργίας πύργου ψύξης (cooling tower).



Σχήμα 4.2: Καρτέλα 'γενικών πληροφοριών' κτιρίου προσομοίωσης

Πρέπει να τονιστεί πως ανάλογα τα δεδομένα που εισάγει ο χρήστης σε κάθε βήμα, το eQuest για όλες τις προαναφερθείσες παραμέτρους προκαθορίζει τιμές, οι οποίες είναι αντιπροσωπευτικές και αναπροσαρμόζονται συνεχώς. Ο χρήστης ουσιαστικά

αλλάζει μόνο τις τιμές/επιλογές στις παραμέτρους που επιθυμεί να τροποποιηθούν σε σχέση με τις “τυπικές-μέσες” τιμές/επιλογές που προτείνει το πρόγραμμα. Σε όλες τις καρτέλες εισαγωγής δεδομένων, με πράσινο εμφανίζονται οι τιμές που έχουν προκαθοριστεί από το πρόγραμμα ως ενδεικτικές, ενώ με κόκκινο οι τιμές που έχουν τροποποιηθεί από τον χρήστη.

Για την εισαγωγή της γεωμετρίας του κτιρίου, υπάρχει δυνατότητα χρήσης ενός από τα προεπιλεγμένα σχήματα (τετράγωνο, ορθογώνιο, σταυρός κλπ) ή η εισαγωγή αρχείου autocad.

Τα αποτελέσματα που δίνει αφορούν τις ενεργειακές καταναλώσεις στα επιμέρους συστήματα. Για κτίρια που βρίσκονται στην Αμερική και τον Καναδά, εισάγοντας τον πάροχο ηλεκτρικού ρεύματος και αερίου, υπάρχει δυνατότητα να υπολογίσει το ετήσιο κόστος λειτουργίας του κτιρίου.

Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται είναι στο SI σύστημα.

Το eQuest ουσιαστικά είναι το γραφικό περιβάλλον του κώδικα ‘DOE-2’. Κυκλοφόρησε για πρώτη φορά στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και χρηματοδοτήθηκε από την ASHRAE, τη NASA και τις βιομηχανίες φυσικού αερίου [24].

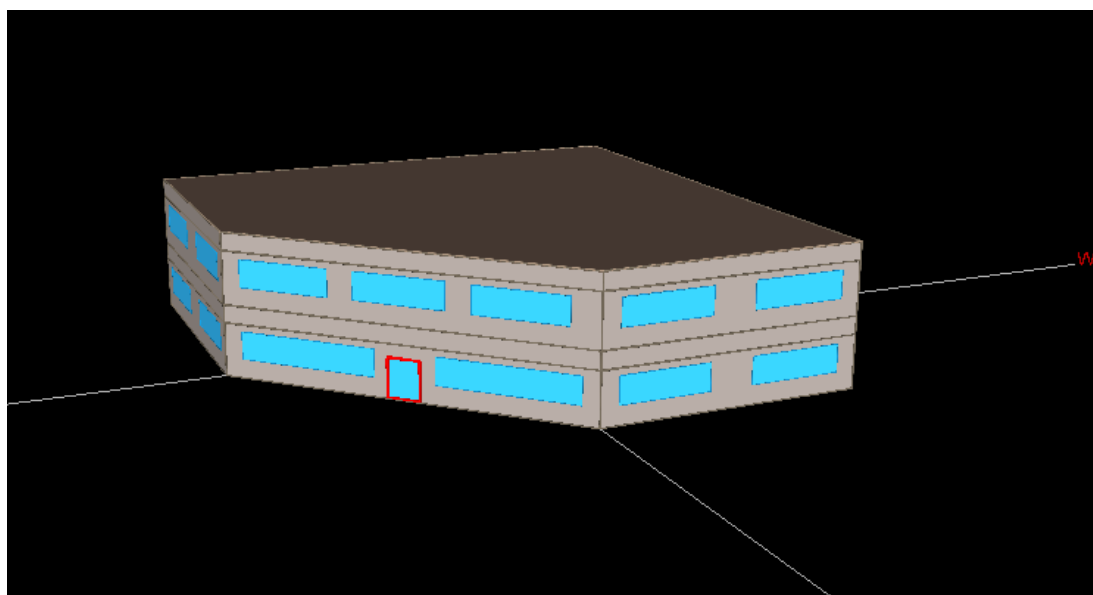
4.3 Γενικά στοιχεία Κτιρίου

Για την διερεύνηση όσον αναφέρθηκαν στην εισαγωγή του κεφαλαίου, επιλέχθηκε να μοντελοποιηθεί με το λογισμικό eQuest, ένα διόροφο κτίριο γραφείων, το οποίο βρίσκεται στην Αθήνα. Η συνολική έκταση του κτιρίου είναι 7.088ft², δηλαδή περίπου 658m² ισομοιρασμένη στους δύο ορόφους. Υπόγειος χώρος δεν υπάρχει. Τα μετεωρολογικά δεδομένα λήφθηκαν από την βάση δεδομένων του Energy Plus energy simulation software. Ουσιαστικά λαμβάνεται ως δεδομένη η θερμοκρασία ανά ώρα του εξωτερικού περιβάλλοντος για ένα ολόκληρο έτος. Το έτος που επιλέχθηκε να εξαχθούν τα αποτελέσματα ενδεικτικά είναι το 2016. Να σημειωθεί ότι τα δεδομένα ήταν διαθέσιμα αρχικά σε μορφή αρχείου “.erw” η οποία δεν είναι συμβατή με το eQuest. Για την μετατροπή του σε αρχείο με την κατάλληλη κατάληξη

“.bin” έγινε χρήση της ρουτίνας “eQWthProc”, η οποία υπάρχει στην επίσημη ιστοσελίδα του eQuest.

Στο Σχήμα 4.3 αποτυπώνεται το κτίριο σε τρισδιάστατη μορφή, ενώ στα Σχήματα 4.4 και 4.5 φαίνονται οι επιμέρους διαστάσεις της περιμέτρου και στοιχεία όπως ο προσανατολισμός του κτιρίου και τα εσωτερικά ύψη. Οι επιλογές “Code Analysis” και «Jurisdiction” αφορούν την προσομοίωση του κτιρίου και την εισαγωγή προκαθορισμένων τιμών στις παραμέτρους, σύμφωνα με κανονισμούς που ισχύουν σε διαφορετικές πολιτείες των ΗΠΑ. Για τις υπόλοιπες χώρες πρέπει να αφήνεται κενό. Επίσης δεν υπάρχουν στοιχεία για την τιμολογιακή πολιτική εταιρειών παροχής ηλεκτρικού ρεύματος και αερίου εκτός ΗΠΑ, οπότε ομοίως δεν συμπληρώνεται κάτι.

Το κτίριο που εξετάζεται έχει τοποθετηθεί στο κέντρο του οικοπέδου, χωρίς να επηρεάζεται από παρακείμενα κτίρια ή υψηλή φύτευση. Δεν έχει τοποθετηθεί κάποιο σύστημα σκίασης, ούτε κάποιος φεγγίτης και θεωρήθηκε το εσωτερικό του ως μία ενιαία ζώνη ψύξης και θέρμανσης.



Σχήμα 4.3: Μοντελοποιημένο κτίριο στο eQuest

General Information

Project Name: Code Analysis:

Building Type:

Location Set:

Weather File: ... Jurisdiction: ?

Utility: Rate:

Electric:

Gas:

Area, HVAC Service & Other Data

Building Area: ft² Number of Floors: Above Grade: Below Grade:

Σχήμα 4.4: Γενικά στοιχεία μοντελοποιημένου κτιρίου

Building Footprint

Footprint Shape:

Zoning Pattern:

Building Orientation

Plan North:

Footprint Dimensions

X1: ft Y1: ft

X2: ft Y2: ft

Area Per Floor, Based On

Building Area / Number of Floors: 3,544 ft²

Dimensions Specified Above: 7,088 ft²

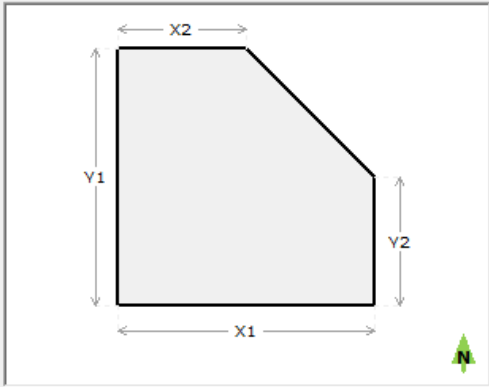
Floor Heights

Flr-To-Flr: ft Flr-To-Ceil: ft

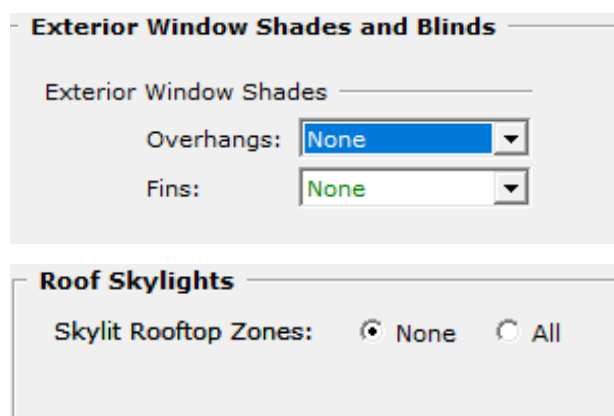
Roof, Attic Properties

Pitched Roof

Zone Names and Characteristics



Σχήμα 4.5: Διαστάσεις κτιρίου προσομοίωσης



Σχήμα 4.6: Επιλογή μη τοποθέτησης συστήματος σκίασης ή φεγγίτη

Διατηρήθηκε ο διαχωρισμός των εσωτερικών χώρων, η πυκνότητα των ατόμων και η απαιτούμενη παροχή αέρα ανά άτομο που προτείνεται από το πρόγραμμα. Το μεγαλύτερο μέρος (70%) αποτελείται από γραφειακούς χώρους. Οι υπόλοιποι χώροι είναι διάδρομοι, WC, αίθουσες συσκέψεων, χώρος αναμονής και ΗΜ εξοπλισμού. Η πυκνότητα πλυθισμού είναι 22.5 άτομα ανά τετραγωνικό πόδι (sf) για τους χώρους συσκέψεων, ενώ για τα γραφεία δέκα φορές λιγότερη. Η μεγαλύτερη ποσότητα αέρα απαιτείται να παρέχεται στους χώρους που βρίσκονται τα φωτοτυπικά μηχανήματα, καθώς παράγονται επικίνδυνα αέρια και στις τουαλέτες για διατήρηση καθαρής ατμόσφαιρας με 93.75cfm/άτομο και 50 cfm/άτομο, δηλαδή περίπου 160m³/h και 85m³/h αντίστοιχα (Σχήμα 4.7). Οι παροχές αυτές είναι σύμφωνα με τον κανονισμό ASHRAE 62.

Η ισχύς φωτισμού στους χώρους δευτερεύουσας χρήσης (διαδρόμους, τουαλέτες, χώροι ΗΜ εξοπλισμού) είναι πολύ μικρότερη σε σχέση τους κυρίους χώρους εργασίας και συνάθροισης (γραφεία, meeting rooms, χώροι φωτοτυπικών) για εξοικονόμηση ενέργειας. Επιτραπέζιος φωτισμός (task light) δεν υπάρχει. Η κατανάλωση των συσκευών (plug loads) και του φωτισμού σε κάθε κατηγορία χώρου φαίνεται σε ώρες λειτουργίας και μη, του κτιρίου στο Σχήμα 4.8 ÷ 4.9. Ως ώρες λειτουργίας ορίστηκε οι 8am – 6pm για τις ημέρες Δευτέρα έως Παρασκευή για όλη τη διάρκεια του χρόνου (Σχήμα 4.10). Για λόγους απλοποίησης, οι ημέρες εορτών και αργίας αμελήθηκαν.

Activity Areas Allocation			
Area Type	Percent Area (%)	Design Max Occup (sf/person)	Design Ventilation (CFM/per)
1: Office (Executive/Private)	70.0	225.0	20.00
2: Corridor	10.0	150.0	7.50
3: Lobby (Office Reception/Waiting)	5.0	150.0	15.00
4: Restrooms	5.0	52.5	50.00
5: Conference Room	4.0	22.5	20.00
6: Mechanical/Electrical Room	4.0	450.0	22.50
7: Copy Room (photocopying equipment)	2.0	187.5	93.75
8: - select another -			

Σχήμα 4.7: Κατανομή επιφάνειας, πυκνότητας πληθυσμού και παροχής αερισμού ανά είδος χώρου

Occupied Loads by Activity Area				
Area Type	Percent Area (%)	Lighting (W/SqFt)	Task Lt (W/SqFt)	Plug Lds (W/SqFt)
1: Office (Executive/Private)	70.0	1.30	0.00	1.50
2: Corridor	10.0	0.60	0.00	0.20
3: Lobby (Office Reception/Waiting)	5.0	1.10	0.00	0.50
4: Restrooms	5.0	0.60	0.00	0.20
5: Conference Room	4.0	1.60	0.00	1.00
6: Mechanical/Electrical Room	4.0	0.70	0.00	0.20
7: Copy Room (photocopying equipment)	2.0	1.50	0.00	3.00

Σχήμα 4.8: Ένταση κεντρικού φωτισμού, επιτραπέζιου και κατανάλωση συσκευών ανά μονάδα επιφάνειας και είδος χώρου, σε ώρες λειτουργίας του κτιρίου

Area Type	Percent Area (%)	Occupancy (%)	Lighting (%)	Task Lt (%)	Plug Lds (%)
1: Office (Executive/Private)	70.0	0.0	0.0	0.0	20.0
2: Corridor	10.0	0.0	10.0	0.0	0.0
3: Lobby (Office Reception/Waiting)	5.0	0.0	10.0	0.0	0.0
4: Restrooms	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5: Conference Room	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6: Mechanical/Electrical Room	4.0	0.0	0.0	0.0	20.0
7: Copy Room (photocopying equipment)	2.0	0.0	0.0	0.0	20.0

Σχήμα 4.9: Ένταση κεντρικού φωτισμού, επιτραπέζιου και κατανάλωση συσκευών ανά μονάδα επιφάνειας και είδος χώρου, σε ώρες μη λειτουργίας του κτιρίου

Main Schedule Information

First (& Last) Season:
01/01/16 - 12/31/16

Mo Tu We Th Fr Sa Su

Day 1

Day 2

Day 3

Day 1 Day 2

Opens at: 8 am Unocc

Closes at: 6 pm

Occup %: 90.0 %

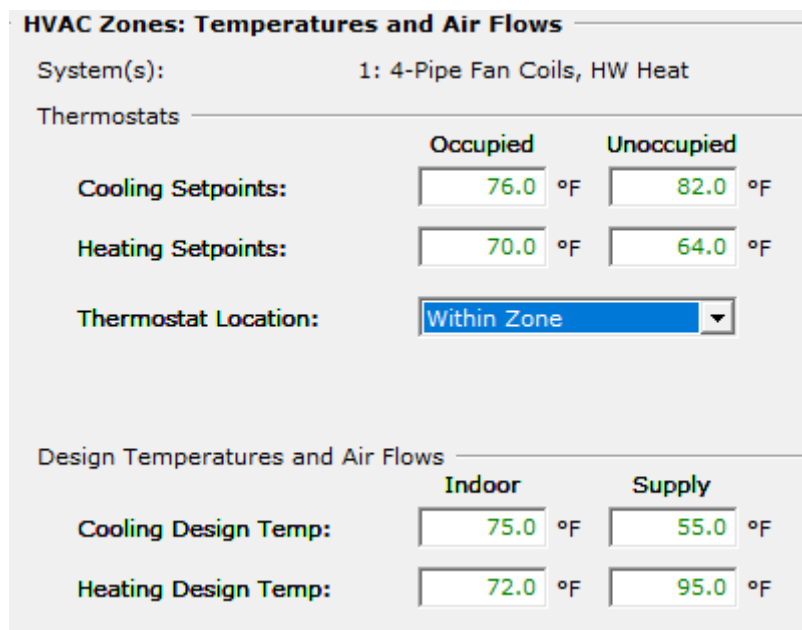
Lites Ld %: 90.0 %

Equip Ld %: 90.0 %

Σχήμα 4.10: Καθορισμός χρονικού διαστήματος λειτουργίας του κτιρίου

Ως θερμοκρασία σχεδιασμού ορίστηκαν οι 22°C (72F) για το χειμώνα και οι 24°C (75F) για το καλοκαίρι (Σχήμα 4.11). Ως θερμοκρασία “supply air” ορίζεται η θερμοκρασία του αέρα όταν εισέρχεται στον θερμαινόμενο χώρο και όχι όταν εξέρχεται από την κεντρική κλιματιστική συσκευή (αν υπάρχει).

Τα παραπάνω δεδομένα εφαρμόστηκαν σε όλα τα διαφορετικά “σενάρια” λειτουργίας του κτιρίου που θα αναφερθούν ακολούθως και δεν θα επαναληφθούν. Στα υποκεφάλαια που ακολουθούν θα αναφέρονται μόνο στις διαφοροποιήσεις των υπόλοιπων δεδομένων.



HVAC Zones: Temperatures and Air Flows			
System(s):	1: 4-Pipe Fan Coils, HW Heat		
Thermostats			
	Occupied	Unoccupied	
Cooling Setpoints:	76.0 °F	82.0 °F	
Heating Setpoints:	70.0 °F	64.0 °F	
Thermostat Location:	Within Zone		
Design Temperatures and Air Flows			
	Indoor	Supply	
Cooling Design Temp:	75.0 °F	55.0 °F	
Heating Design Temp:	72.0 °F	95.0 °F	

Σχήμα 4.11: Καθορισμός θερμοκρασιών

4.4 Συμπεράσματα

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την μοντελοποίηση του κτιρίου είναι το eQuest, το οποίο υπολογίζει την ωριαία κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου για έναν ολόκληρο χρόνο. Στο λογισμικό αυτό πρέπει να εισαχθούν δεδομένα όπως οι κλιματολογικές συνθήκες του έτους για το οποίο θέλουμε να εξαχθούν συμπεράσματα, οι διαστάσεις κτιρίου, τα υλικά κατασκευής του, η πυκνότητα ατόμων ανά επιφάνεια, ο τύπος συστήματος HVAC, το ωράριο λειτουργίας κ.α.

Το κτίριο που μοντελοποιήθηκε έχει σχήμα πεντάγωνο με συνολικό εμβαδόν 7.088ft² (658m²) και καθαρό ύψος ανά όροφο 9ft (2.70m). Δεν τοποθετήθηκε κάποιο σκίαστρο ή φεγγίτης. Το μεγαλύτερο τμήμα του κτιρίου αποτελείται από γραφειακούς χώρους (70%) και το υπόλοιπο είναι διάδρομοι, τουαλέτες, αίθουσες συσκέψεων κλπ.

Επίσης καθορίστηκαν οι ώρες λειτουργίας του κτιρίου, σταθερές καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και τα φορτία φωτισμού, η ελάχιστη παροχή αερισμού και η επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία.

Αυτά τα στοιχεία παραμένουν σταθερά σε όλα τα διαφορετικά σενάρια προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκαν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗVAC

5.1 Γενικά

Στο Κεφάλαιο αυτό προσομοιώνεται το κτίριο που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο για διαφορετικά 'σενάρια'. Αρχικά εξετάζεται το ποσοστό της ενέργειας που εξοικονομείται για το σύστημα ΗVAC ενός υπάρχοντος κτιρίου που είναι κατασκευασμένο με τις ΤΟΤΕΕ 2010 σε σχέση το αν ήταν κατασκευασμένο με τις προδιαγραφές του ΚΘΚ και στη συνέχεια μελετάται η επίδραση του προσανατολισμού του κτιρίου σε αυτό. Κατόπιν γίνονται μοντελοποιήσεις για διαφορετικά πάχη θερμομόνωσης των εξωτερικών τοίχων και υπολογίζονται ξεχωριστά οι ψυκτικές και θερμικές καταναλώσεις. Τέλος, προσομοιώνονται τέσσερα διαφορετικά συστήματα ΗVAC και συγκρίνονται οι καταναλώσεις τους.

5.2 Επίδραση διαφορετικών προδιαγραφών θερμομόνωσης (ΚΘΚ – ΤΟΤΕΕ 2010)

Για την διερεύνηση της επίδρασης των νέων ορίων θερμοπερατότητας σύμφωνα με τις ΤΟΤΕΕ 2010 [20] σε σχέση με της προϋπάρχουσες του ΚΘΚ [19], μοντελοποιήθηκε το κτίριο με διαφορετικά δομικά υλικά, ώστε να πληρούνται σε κάθε περίπτωση οριακά οι αντίστοιχες απαιτήσεις.

Στο Σχήμα 5.1 ÷ 5.2 φαίνονται τα δομικά υλικά κατασκευής του εξωτερικού τοίχου, τα πάχη τους και θερμοπερατότητά τους ώστε να πληρούνται οι ελάχιστες απαιτήσεις του ΚΘΚ. Ο τοίχος αποτελείται από διπλή στρώση οπτόπλινθων, με επίχρισμα εκατέρωθεν και μόνωση πολυστερίνης στη μέση πάχους μίαμισης ίντσας. Η θερμική αντίσταση του συγκεκριμένου δομικού στοιχείου είναι ίση με $R = 9.100 \text{ Btu/ft}^2 \text{ F}$. Η οροφή αποτελείται από σκυρόδεμα πάχους έξι ιντσών και μόνωση πολυστερίνης πάχους 2.0 ιντσών. Τα παράθυρα είναι μονού υαλοπίνακα με μεταλλικό πλαίσιο.

Layer-by-Layer Construction

Construction Name: Surface Type:

Layers: (outside to inside)

	Spec Method	Category	Material	R-Value (h-ft ² -°F/Btu)	Thickness (ft)	Conductivity (Btu/h-ft-°F)
1	Library Entry	Stucco	Stucco, 1 Inch (SC01)		0.083	0.4167
2	Library Entry	Brick	Brick, Common, 4 Inch (BK1)		0.333	0.4167
3	Library Entry	Polystyrene	Polystyrene, Expanded, 1-1,		0.125	0.0200
4	Library Entry	Brick	Brick, Common, 4 Inch (BK1)		0.333	0.4167
5	Library Entry	Stucco	Stucco, 1 Inch (SC01)		0.083	0.4167
6	- select mater					

Overall R-Value: h-ft²-°F/Btu

Σχήμα 5.1: Υλικά εξωτερικού τοίχου για προδιαγραφές ΚΘΚ

Layer-by-Layer Construction

Construction Name: Surface Type:

Layers: (outside to inside)

	Spec Method	Category	Material	R-Value (h-ft ² -°F/Btu)	Thickness (ft)	Conductivity (Btu/h-ft-°F)
1	Library Entry	Stucco	Stucco, 1 Inch (SC01)		0.083	0.4167
2	Library Entry	Polystyrene	Polystyrene, Expanded, 2 Ir		0.167	0.0200
3	Library Entry	Concrete 80 lb	Concrete, LW, 80 Lb., 6 Inch		0.500	0.2083
4	Library Entry	Stucco	Stucco, 1 Inch (SC01)		0.083	0.4167
5	- select mater					

Overall R-Value: h-ft²-°F/Btu

Σχήμα 5.2: Υλικά οροφής για προδιαγραφές ΚΘΚ

Για την επίτευξη των απαιτήσεων ΤΟΤΕΕ 2010, η δομή των στοιχείων ήταν ίδια αλλά χρησιμοποιήθηκε μόνωση πάχους 2.5 ιντσών (0.2 ft) για την οροφή και τους τοίχους. Τα παράθυρα ήταν διπλού υαλοπίνακα με μεταλλικό πλαίσιο.

Layer-by-Layer Construction

Construction Name: Surface Type:

Layers: (outside to inside)

	Spec Method	Category	Material	R-Value (h-ft ² -°F/Btu)	Thickness (ft)	Conductivity (Btu/h-ft-°F)
1	Library Entry	Stucco	Stucco, 1 Inch (SC01)		0.083	0.4167
2	Library Entry	Brick	Brick, Common, 4 Inch (BK1)		0.333	0.4167
3	Library Entry	Polystyrene	Polystyrene, Expanded, 2 In		0.200	0.0200
4	Library Entry	Brick	Brick, Common, 4 Inch (BK1)		0.333	0.4167
5	Library Entry	Stucco	Stucco, 1 Inch (SC01)		0.083	0.4167
6	- select mater					

Overall R-Value: h-ft²-°F/Btu

Σχήμα 5.3: Υλικά εξωτερικού τοίχου για προδιαγραφές TOTEE 2010

Layer-by-Layer Construction

Construction Name: Surface Type:

Layers: (outside to inside)

	Spec Method	Category	Material	R-Value (h-ft ² -°F/Btu)	Thickness (ft)	Conductivity (Btu/h-ft-°F)
1	Library Entry	Stucco	Stucco, 1 Inch (SC01)		0.083	0.4167
2	Library Entry	Polystyrene	Polystyrene, Expanded, 3 In		0.200	0.0200
3	Library Entry	Concrete 80 lb	Concrete, LW, 80 Lb., 6 Inch		0.500	0.2083
4	Library Entry	Stucco	Stucco, 1 Inch (SC01)		0.083	0.4167
5	- select mater					

Overall R-Value: h-ft²-°F/Btu

Σχήμα 5.4: Υλικά οροφής για προδιαγραφές TOTEE 2010

Για το σύστημα HVAC (Σχήμα 5.5) χρησιμοποιήθηκε τετρασωλήνιο σύστημα fan coil που συνδεόταν σε ηλεκτρικό boiler και αερόψυκτο ψύκτη (air-cooled chiller). Περισσότερα στοιχεία για το συγκεκριμένο σύστημα, θα αναφερθούν στο υποκεφάλαιο 3. όπου θα συγκριθούν τα διαφορετικά είδη HVAC.

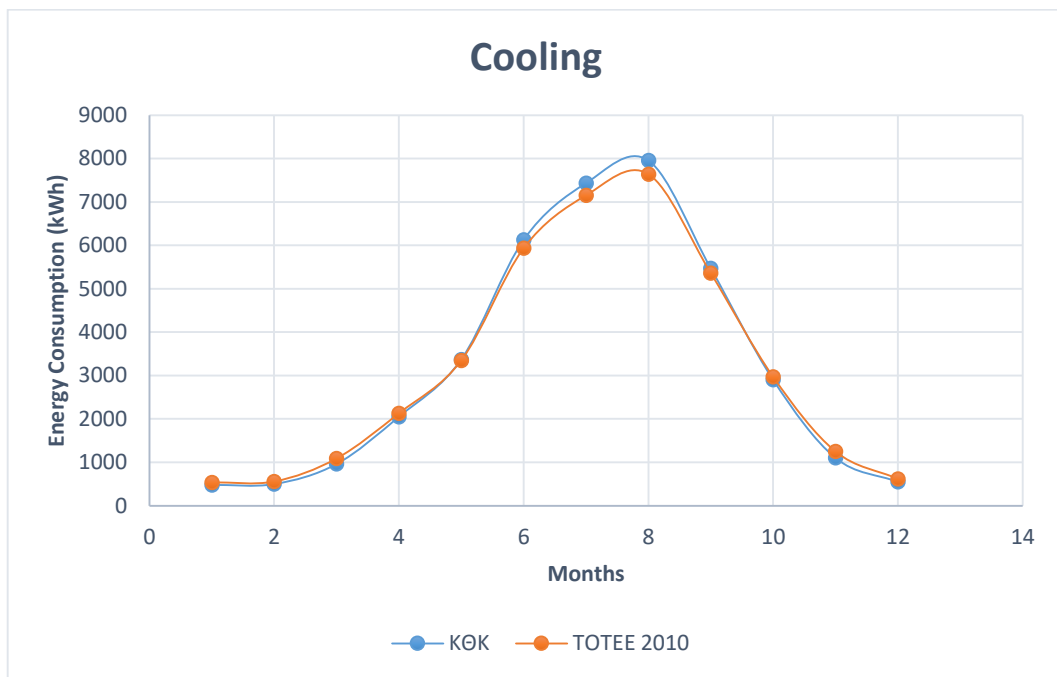
HVAC System Definitions

Describe Up To 2 HVAC System Types

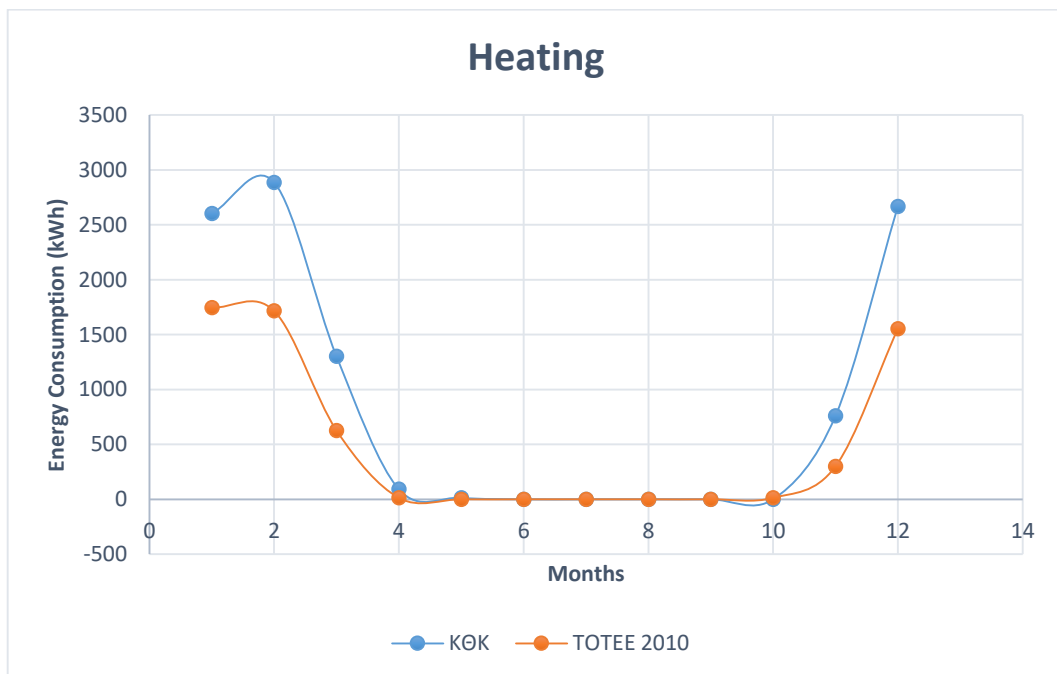
	System 1	System 2
Cooling Source:	Chilled Water Coils	No Cooling
Heating Source:	Hot Water Coils	No Heating
Hot Water Src:	Hot Water Loop	
System Type:	4-Pipe Fan Coils with HW Heat	- none -

Σχήμα 5.5: Επιλογή συστήματος HVAC

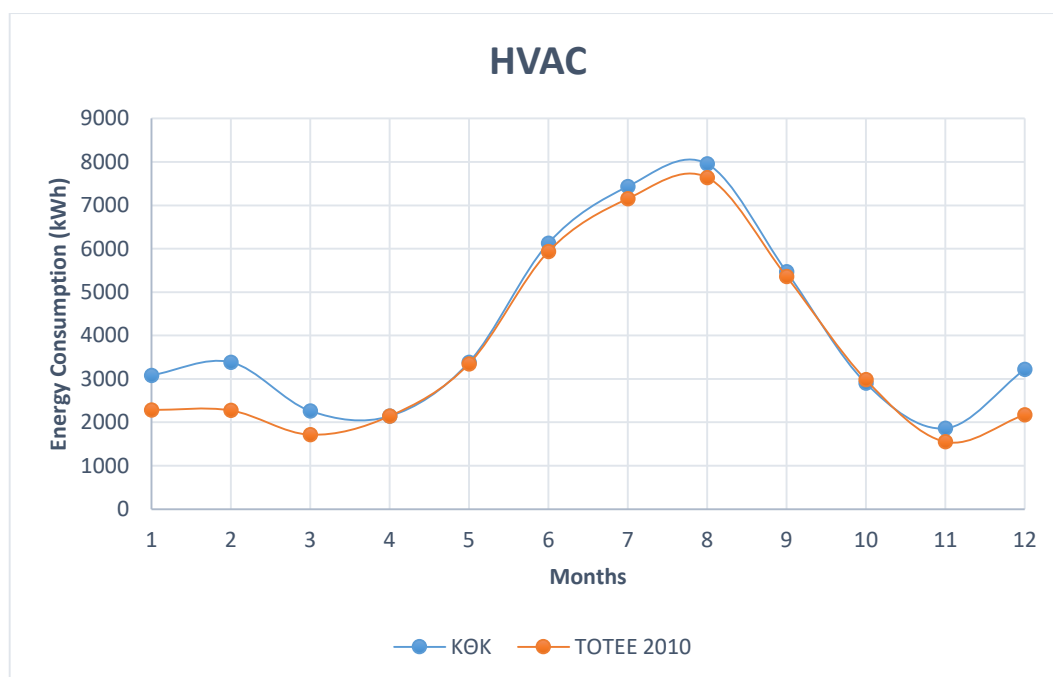
Με αυτά τα δεδομένα το λογισμικό υπολόγισε τις μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις για κάθε περίπτωση και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.6 ÷ 5.8. Παρατηρείται, ότι με τα πιο αυστηρά όριο θερμοπερατότητας υπάρχει μείωση στην ετήσια ενεργειακή κατανάλωση για το σύστημα HVAC. Πιο συγκεκριμένα, η συνολική κατανάλωση ενέργειας με τον ΚΘΚ είναι 49.2 MWh, ενώ με τις νεότερες απαιτήσεις είναι 44.6 MWh, επιτεύχθηκε δηλαδή μείωση της τάξης του 9.3% (Πίνακας 5.1). Η μεγαλύτερη διαφοροποίηση παρατηρείται τους μήνες Ιανουάριο-Μάρτιο και Νοέμβριο-Δεκέμβριο, κατά τους οποίους απαιτείται θέρμανση των εσωτερικών χώρων. Να σημειωθεί ότι με την αύξηση του πάχους της συνολικής θερμομόνωσης του κελύφους, παρατηρείται μείωση των απαιτούμενων ψυκτικών καταναλώσεων.



Σχήμα 5.6: Διάγραμμα ετήσιων καταναλώσεων για ψύξη με δύο διαφορετικές προδιαγραφές θερμομόνωσης



Σχήμα 5.7: Διάγραμμα ετήσιων καταναλώσεων για θέρμανση με δύο διαφορετικές προδιαγραφές θερμομόνωσης



Σχήμα 5.8: Διάγραμμα ετήσιων καταναλώσεων για ψύξη και θέρμανση με δύο διαφορετικές προδιαγραφές θερμομόνωσης

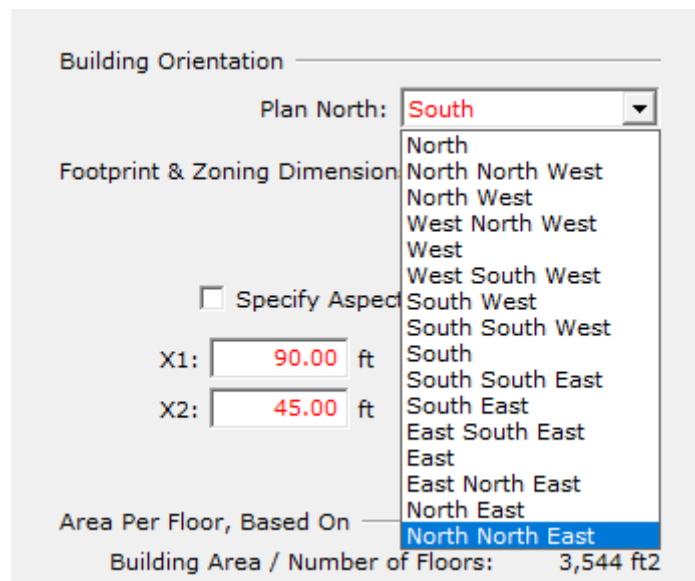
Πίνακας 5.1: Ετήσιες καταναλώσεις για ψύξη και θέρμανση με δύο διαφορετικές προδιαγραφές θερμομόνωσης

Month	HVAC Energy Consumption (kwh)	
	KOK	TOTEE
Jan	3083.1	2284.6
Feb	3385	2273.8
Mar	2262.6	1714.9
Apr	2141.4	2142.2
May	3383	3347.2
Jun	6126.7	5933.4
Jul	7433.2	7151.6
Aug	7954.4	7641.6
Sep	5471.2	5360.4
Oct	2900.7	2982.2
Nov	1861	1551
Dec	3217.9	2173.7
Total	49220.4	44556.5

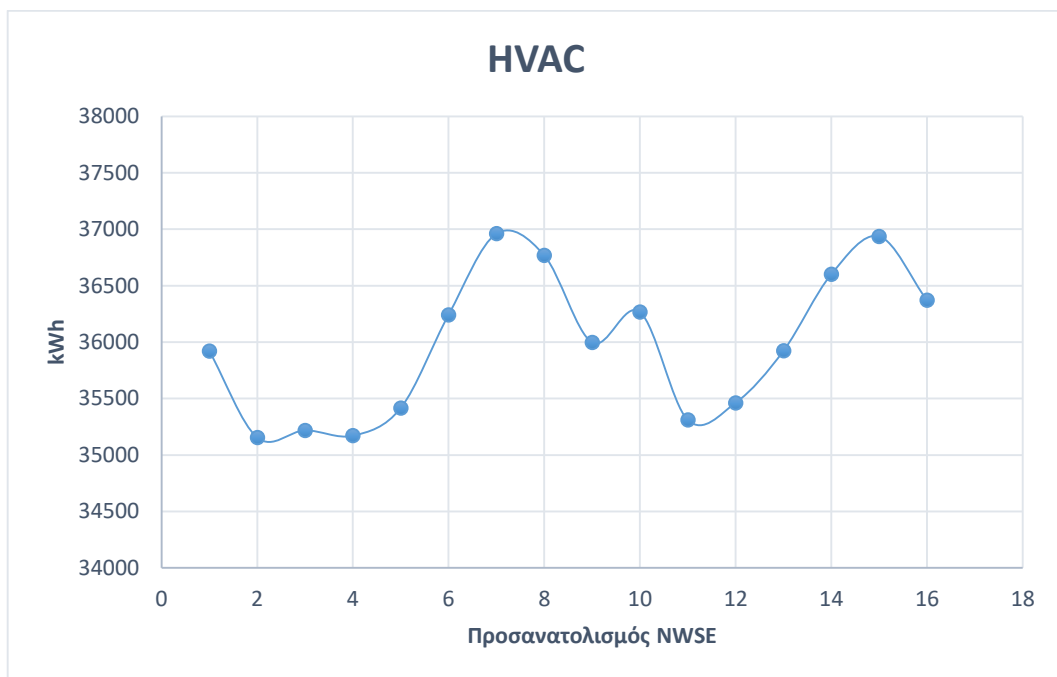
5.2 Επίδραση προσανατολισμού του κτιρίου

Σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 2010 [20], ο μελετητής πρέπει να σχεδιάζει ένα κτίριο με στόχο τη βέλτιστη ενεργειακή λειτουργία του, αξιοποιώντας όλες τις τεχνικές θωράκισης του κτιρίου και περιορίζοντας τις θερμικές/ψυκτικές απώλειες. Μία από τις παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν είναι η χωροθέτηση και προσανατολισμός του κτιρίου με στόχο τη μέγιστη αξιοποίηση των τοπικών κλιματολογικών συνθηκών. Ο προσανατολισμός του κάθε δομικού στοιχείου επιδρά στο ηλιακό του κέρδος και κατ' επέκταση η διαφοροποίηση του μεγέθους της επιφάνειας του κτιρίου που έχει συγκεκριμένο προσανατολισμό, μπορεί να επιδράσει στα συνολικά ψυκτικά/θερμικά φορτία. Δηλαδή ενδεχομένως ένα κτίριο που έχει την μεγαλύτερη διάστασή του με βόρειο προσανατολισμό, μπορεί να έχει λιγότερες απαιτήσεις σε ψύξη, από ένα κτίριο που έχει δυτικό προσανατολισμό.

Σκοπός των συγκεκριμένων προσομοιώσεων δεν είναι ο καθορισμός της βέλτιστης τοποθέτησης του κτιρίου για μείωση των ενεργειακών αναγκών, αλλά να διερευνηθεί σε τι ποσοστό μπορεί να επιδρά η επιλογή του προσανατολισμού στην συνολική ενεργειακή κατανάλωση για το σύστημα HVAC. Συνεπώς το κτίριο το οποίο έχει σχεδιαστεί με τις προδιαγραφές ΤΟΤΕΕ, στρεφόταν κατά 22.5 μοίρες μέχρι να κάνει μία πλήρη περιστροφή και κάθε φορά υπολογίζονταν οι ενεργειακές καταναλώσεις για το σύστημα HVAC (Σχήμα 5.9). Τα αποτελέσματα φαίνονται στο Σχήμα 5.10. Η ελάχιστη ετήσια ενεργειακή κατανάλωση είναι 35.2MWh, ενώ η μέγιστη 36.9MWh. Άρα με τον κατάλληλο προσανατολισμό μπορεί να εξοικονομηθεί ενέργεια της τάξης του 4.6%.



Σχήμα 5.9: Επιλογή προσανατολισμού κτιρίου



Σχήμα 5.10: Διάγραμμα ετήσιων ενεργειακών καταλώσεων του κτιρίου για διαφορετικούς προσανατολισμούς

5.4 Επίδραση πάχους μόνωσης εξωτερικής τοιχοποιίας

Κατόπιν, διερευνήθηκε η επίδραση του πάχους της μόνωσης μόνο της εξωτερικής τοιχοποιίας. Η μόνωση της οροφής και οι υαλοπίνακες δεν μεταβάλλονται. Τα υπόλοιπα στοιχεία παρέμειναν αμετάβλητα. Ο εξωτερικός τοίχος θεωρήθηκε ότι αποτελείται από διπλή τοιχοποιία από τούβλα και επίχρισμα από τις δύο πλευρές πάχους μίας ίντσας. Η μόνωση που χρησιμοποιήθηκε είναι η εξηλασμένη πολυστερίνη. Στο Σχήμα 5.11, φαίνεται ενδεικτικά η διάταξη εξωτερικού τοίχου, με μόνωση πάχους τριών ιντσών.

Layer-by-Layer Construction						
Construction Name: <input type="text" value="Ext Wall 4"/>				Surface Type: <input type="text" value="Vertical Exterior Wall"/>		
Layers: (outside to inside)						
	Spec Method	Category	Material	R-Value (h-ft ² -°F/Btu)	Thickness (ft)	Conductivity (Btu/h-ft-°F)
1	Library Entry	Stucco	Stucco, 1 Inch (SC01)		0.083	0.4167
2	Library Entry	Brick	Brick, Common, 4 Inch (BK1)		0.333	0.4167
3	Library Entry	Polystyrene	Polystyrene, Expanded, 3 In		0.250	0.0200
4	Library Entry	Brick	Brick, Common, 4 Inch (BK1)		0.333	0.4167
5	Library Entry	Stucco	Stucco, 1 Inch (SC01)		0.083	0.4167
6	- select mater					

Overall R-Value: h-ft²-°F/Btu

Σχήμα 5.11: Ενδεικτική διάταξη υλικών εξωτερικού τοίχου

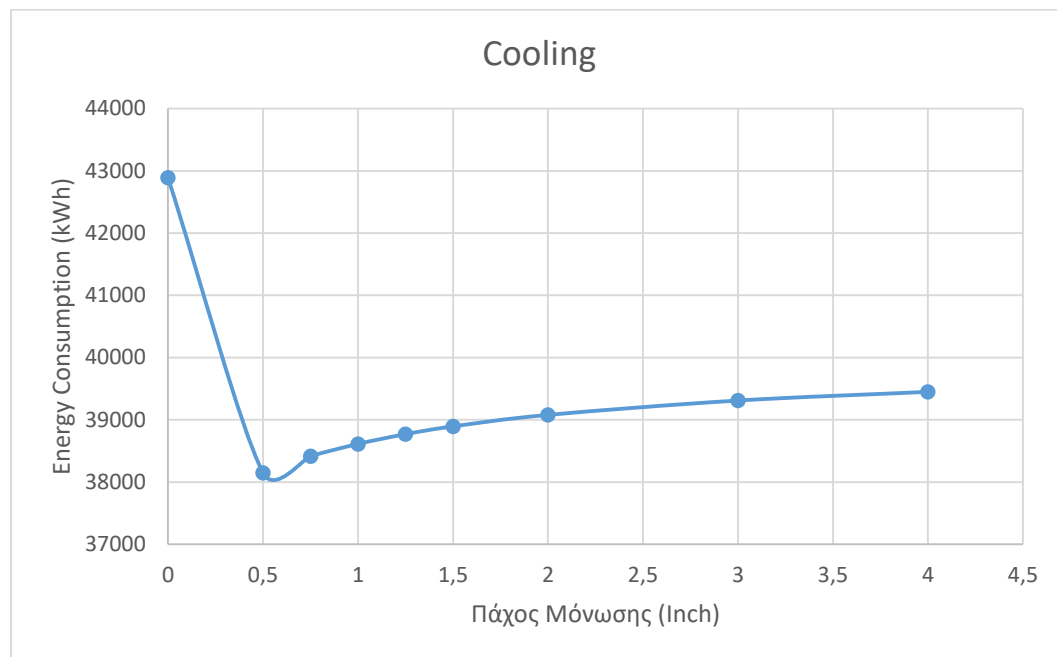
Πίνακας 5.2: Ετήσιες καταναλώσεις για ψύξη, θέρμανση και συνολικές για διαφορετικά πάχη μόνωσης εξωτερικών τοίχων

Πάχος Μόνωση (Inch)	Cooling (kWh)	Heating (kWh)	Total (kWh)
0	42888	39379	82266
0.5	38147	13243	51390
0.75	38414	12122	50536
1	38612	11353	49965
1.25	38769	10755	49524
1.5	38894	10329	49223
2	39079	9681	48760
3	39310	8893	48203
4	39449	8448	47897

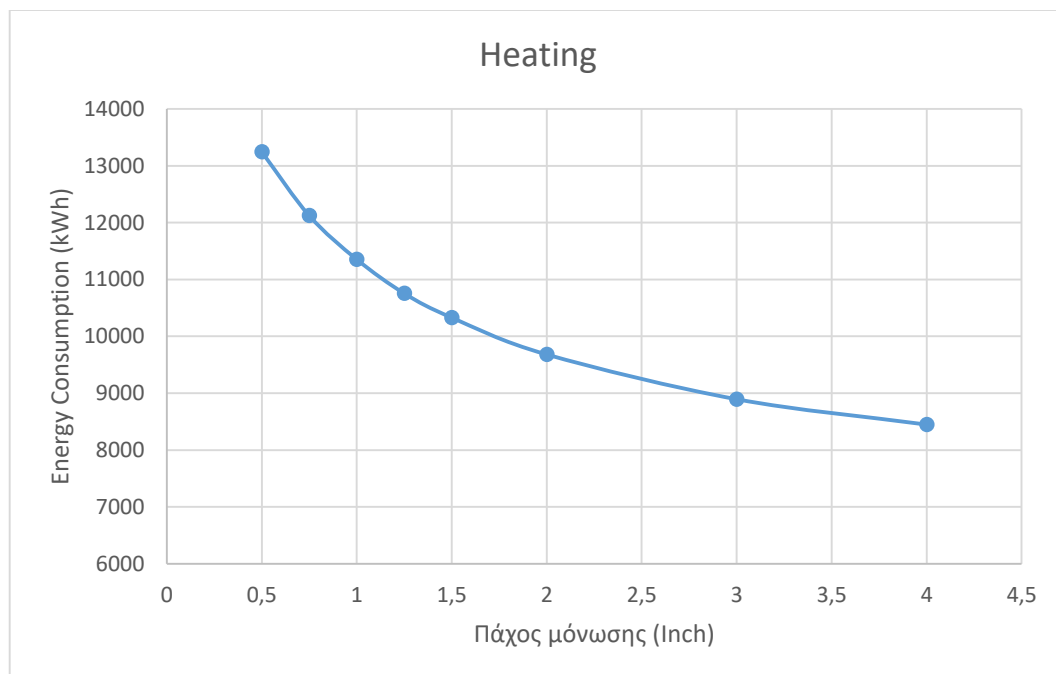
Δεδομένου ότι από την ανασκόπηση προϋπαρχουσών μελετών, οι οποίες έχουν παρουσιαστεί στο Κεφάλαιο 2, δεν προέκυψε σαφές συμπέρασμα για την επίδραση της αύξησης του πάχους μόνωσης, κρίθηκε σκόπιμο να παρουσιαστούν σε διαφορετικά διαγράμματα, οι καταναλώσεις για ψύξη και για θέρμανση (Σχήμα 5.12 ÷ 5.13). Στο Σχήμα 5.14 αποτυπώνονται οι συνολικές καταναλώσεις για το σύστημα HVAC.

Όπως ήταν αναμενόμενο με την αύξηση του πάχους μόνωσης, μειώνονται τόσο οι θερμικές απώλειες όσο και οι συνολικές. Βέβαια όσο αυξάνεται το πάχος, η καμπύλη έχει μικρότερη κλίση, δηλαδή δεν είναι τό ίδιο έντονη η μείωση. Μάλιστα με πάχος μόνωσης εξωτερικού τοίχου ίσο με 4cm που είναι μία πολύ μεγάλη μόνωση και δεν συναντάται στις κατασκευές, μπορεί να εξοικονομηθεί έως και 78.5% της ενέργειας που απαιτείται για θέρμανση σε σχέση με έναν τοίχο χωρίς καθόλου μόνωση.

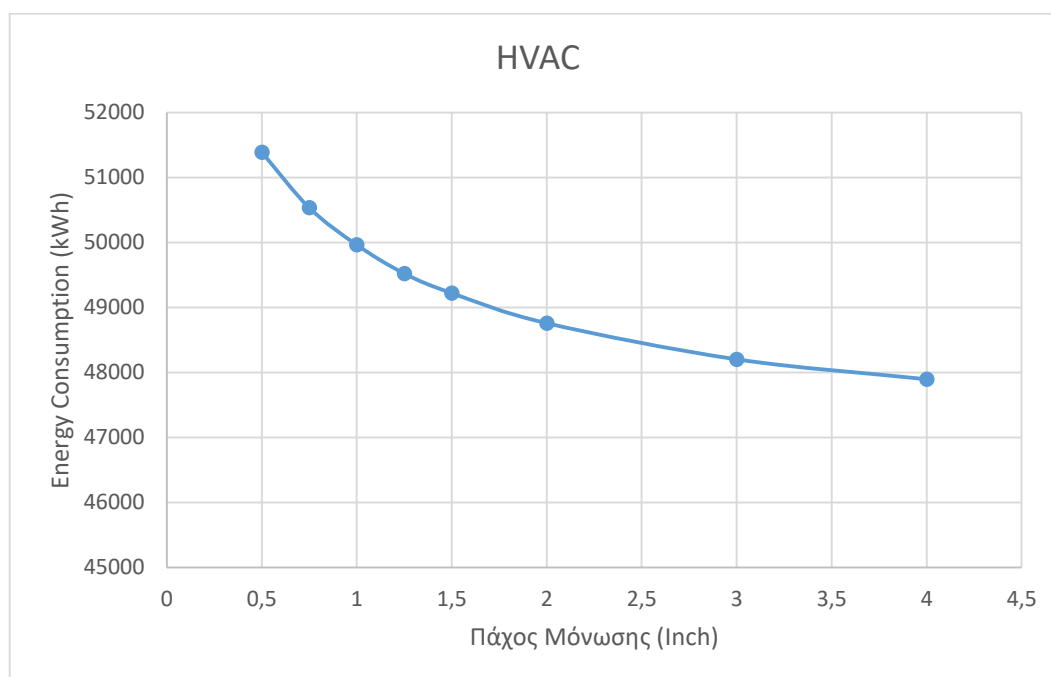
Πρέπει να σημειωθεί, πως στις καταναλώσεις για ψύξη, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, φαίνεται η αύξηση της μόνωσης να έχει αντίθετα αποτελέσματα. Δηλαδή, για αύξηση του πάχους μόνωσης από την μισή ίντσα έως τις τέσσερις ίντσες παρατηρείται ότι καταναλώνεται περισσότερη ενέργεια. Η μέγιστη απόκλιση για μόνωση πάχους 4 ιντσών, είναι της τάξης του 3.3% σε σχέση με την ελάχιστη μόνωση μισής ίντσας, συνεπώς δεν είναι μεγάλη η διαφοροποίηση. Ενώ η αντίστοιχη μείωση της θερμικής κατανάλωσης, για τα ίδια πάχη μόνωσης είναι περίπου 36%. Βέβαια για οποιοδήποτε πάχος μόνωσης, η ψυκτική ενέργεια που απαιτείται είναι μικρότερη σε σχέση με την περίπτωση απουσίας μόνωσης (0 inches).



Σχήμα 5.12: Διάγραμμα ετήσιων ψυκτικών καταλώσεων του κτιρίου για διαφορετικά πάχη μόνωσης εξωτ. τοίχων



Σχήμα 5.13: Διάγραμμα ετήσιων θερμικών καταλώσεων του κτιρίου για διαφορετικά πάχη μόνωσης εξωτ. τοίχων



Σχήμα 5.14: Διάγραμμα ετήσιων συνολικών καταλώσεων του κτιρίου για το σύστημα HVAC για διαφορετικά πάχη μόνωσης εξωτ. Τοίχων

5.5 Επίδραση τύπου συστήματος HVAC

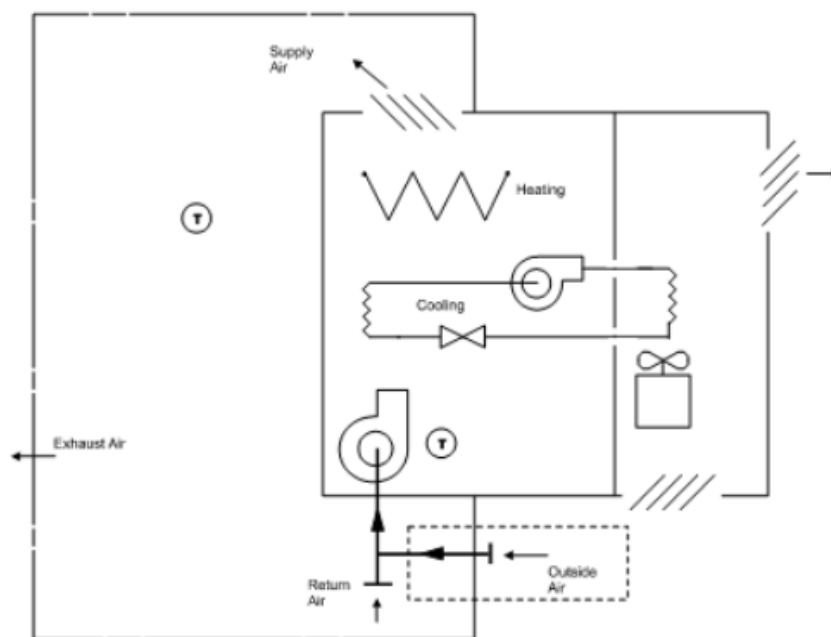
Στο υποκεφάλαιο αυτό, αρχικά θα γίνει περιγραφή κάθε συστήματος HVAC ξεχωριστά και θα παρουσιαστούν λεπτομερώς τα δεδομένα που εισήχθησαν στο πρόγραμμα. Τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν συγκεντρωτικά στο τέλος.

- Σύστημα ψύξης με *Direct Expansion (DX) coil* και θέρμανσης με ηλεκτρική αντίσταση (*Packaged Terminal Air Conditioning with electric Heat –PTAC*)

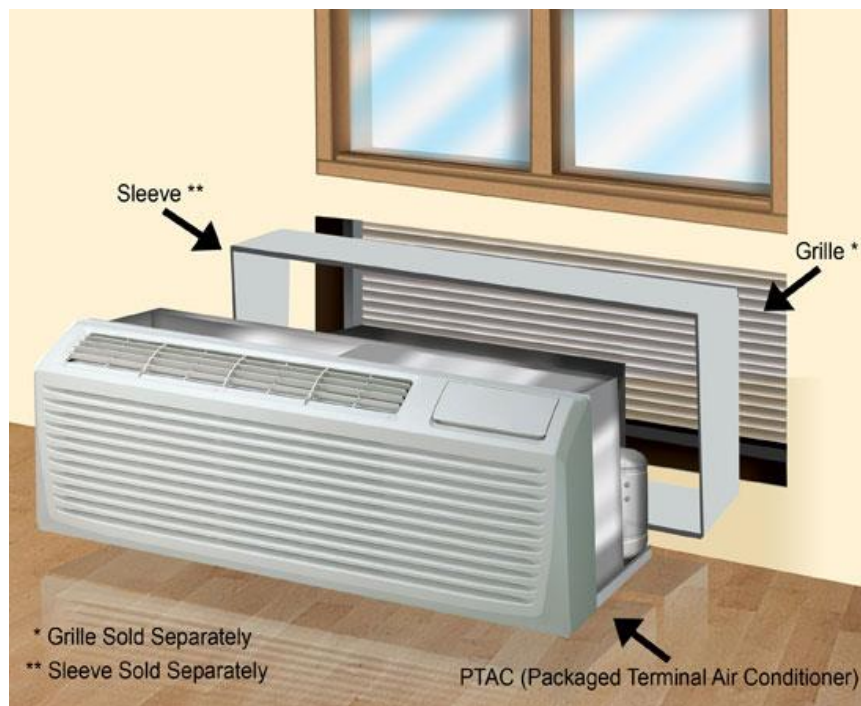
Το σύστημα ψύξης αποτελείται από έναν συμπιεστή, έναν συμπηκνωτή, μία βαλβίδα εκτόνωσης και έναν εξατμιστή (κλασικός κύκλος ψύξης) και τέλος έναν ανεμιστήρα ο οποίος διακινεί τον αέρα που ψύχεται στον εξατμιστή. Στη συνέχεια ο κρύος αέρας εισέρχεται στον κλιματιζόμενο χώρο. Για την θέρμανση ο ίδιος ανεμιστήρας οδηγεί τον αέρα στην ηλεκτρική αντίσταση, ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία του μέσω της

συναλλαγής θερμότητας. Η συγκεκριμένη διάταξη παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.15 [25] και η φωτορεαλιστική απεικόνιση της συσκευής στο Σχήμα 5.16. Οι μονάδες ΡΤΑC συνήθως τοποθετούνται κάτω από παράθυρα και έρχονται σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα μέσα από γρίλιες τοποθετημένες στον εξωτερικό τοίχο. Οι γρίλιες τοποθετούνται σε κατάλληλο πλαίσιο (sleeve).

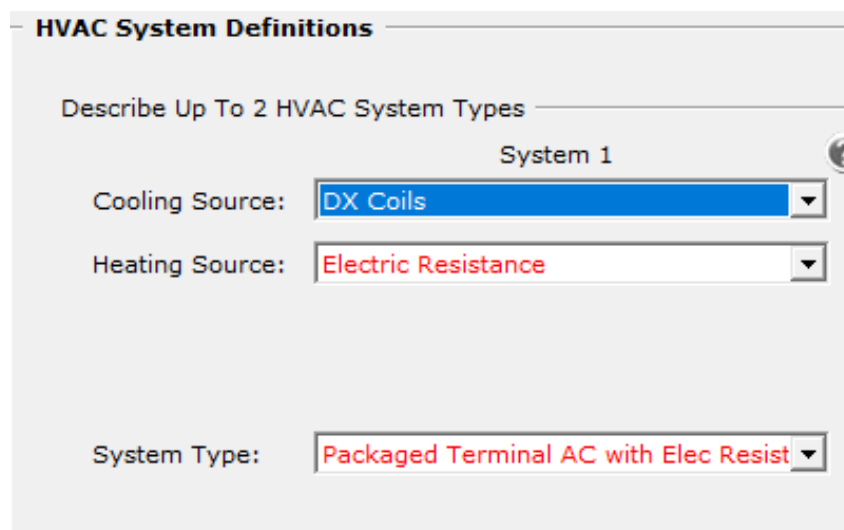
Τα βασικά δεδομένα επιλογής συστήματος ψύξης-θέρμανσης, όπως εισήχθησαν στο λογισμικό φαίνονται στο Σχήμα 5.17.



Σχήμα 5.15: Διάταξη συστήματος κλιματισμού με DX coil και θέρμανσης με ηλεκτρική αντίσταση (Packaged Terminal Air Conditioner – PTAC with DX cooling) [25]



Σχήμα 5.16: Φωτορεαλιστική απεικόνιση του συστήματος κλιματισμού PTAC (Packaged Terminal Air Conditioner – PTAC) {12}



Σχήμα 5.17: Εισαγωγή δεδομένων στο eQuest για το σύστημα κλιματισμού με DX coil και θέρμανσης με ηλεκτρική αντίσταση (PTAC)

Επιπλέον ζητείται να εισαχθούν δεδομένα όπως το μέγεθος της μονάδας κλιματισμού και θέρμανσης και τον συντελεστή απόδοσης ψύξης (EER). Συντελεστής ενεργειακής απόδοσης σε ψύξης ορίζεται ως το πηλίκο της ψυκτικής απόδοσης του μηχανήματος προς την κατανάλωση ρευματος και είναι καθαρός αριθμός.

Επίσης εισάγονται δεδομένα που αφορούν τη λειτουργία των ανεμιστήρων. Για την ισχύ το eQuest δέχεται μονάδες είτε σε ίντσες στατικής πίεσης (WG) είτε σε BHP. Για την απόδοση του ανεμιστήρα (efficiency) υπάρχει η δυνατότητα επιλογών “Standard”, “High” και “Premium”. Από το πρόγραμμα επιλέγεται αυτόματα η απόδοση “High”, ώστε να είναι σύμφωνη με τις απαιτήσεις των κανονισμών ASHRAE, EPart και Title 24 [23]. Ο κώδικας του λογισμικού υπολογίζει αυτόματα την παροχή του ανεμιστήρα. Επιλέχθηκε να μην τροποποιηθεί κανένα από τα δεδομένα που πρότεινε το λογισμικό σχετικά με την διαστασιολόγηση και την απόδοση των μηχανημάτων (Σχήμα 5.16 ÷ 5.17).

Σχήμα 5.18: Εισαγωγή δεδομένων σχετικά με την ενεργειακή απόδοση-ισχύ των μηχανημάτων (PTAC)

Supply Fans

Power & Mtr Eff: 0.50 in. WG High

Fan Flow & OSA: Auto-size Flow (with 1.15 safety factor)

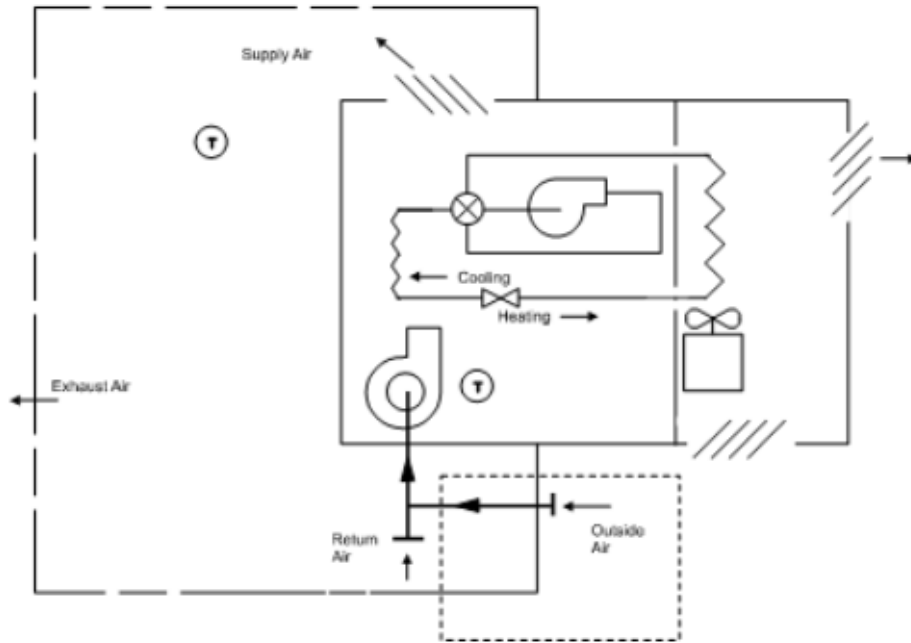
Fan Type: Two Speed

Σχήμα 5.19: Εισαγωγή δεδομένων σχετικά με την ενεργειακή απόδοση-ισχύ των μηχανημάτων (PTAC)

- Σύστημα *Packaged Terminal Air Conditioning* με αντλία θερμότητας αέρα αέρα

Η μόνη διαφοροποίηση με το προηγούμενο σύστημα είναι πως αντί για τις ανάγκες θέρμανσης, αντί για ηλεκτρική αντίσταση υπάρχει η αντλία θερμότητας. Το σύστημα αντλίας θερμότητας είναι αέρα αέρα, δηλαδή αποτελείται από δύο εναλάκτες θερμότητας ψυκτικού υγρού με αέρα. Ομοίως πραγματοποιείται ο κλασικός κύκλος ψύξης. Στο Σχήμα 5.20 παρουσιάζεται η σχηματική διάταξη του συγκεκριμένου συστήματος και στο Σχήμα 5.21 η επιλογή του συγκεκριμένου συστήματος στο eQuest.

Η συγκεκριμένη διάταξη με την αντλία θερμότητας σε συνήθεις θερμοκρασίες είναι πιο αποδοτική από την ηλεκτρική αντίσταση. Έχει όμως το μειονέκτημα ότι είναι πιο θορυβώδης και σε εξωτερικές {12} θερμοκρασίες κοντά στο μηδέν μειώνεται ραγδαία η απόδοσή της, γεγονός που την καθιστά ακατάλληλη για πολύ χαμηλές θερμοκρασίες.



Σχήμα 5.20: Διάταξη συστήματος κλιματισμού με αντλία θερμότητας αέρα αέρα (Packaged Terminal Air Conditioner – PTAC with air to air Heat Pump) [25]

HVAC System Definitions

Describe Up To 2 HVAC System Types

System 1

Cooling Source:

Heating Source:

Heat Pump Src:

System Type:

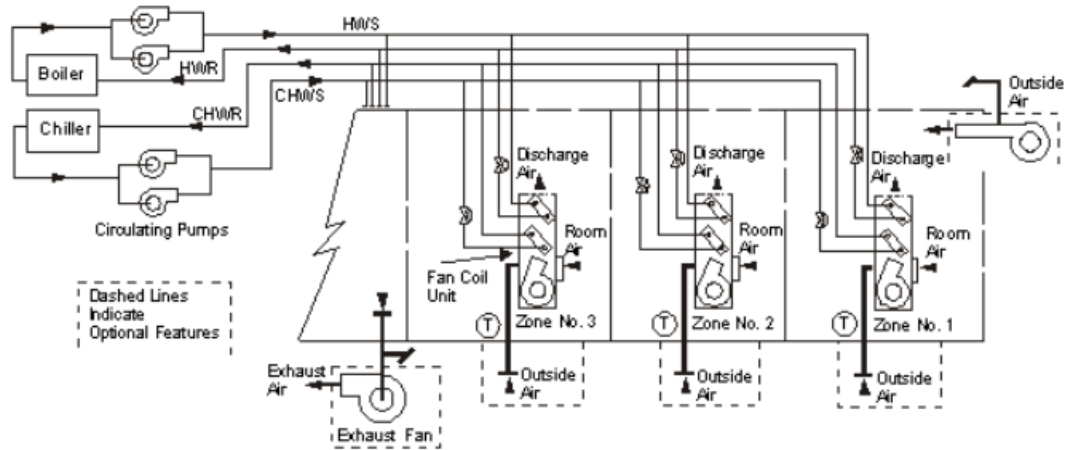
Σχήμα 5.21: Εισαγωγή δεδομένων στο eQuest για το σύστημα κλιματισμού με αντλία θερμότητας αέρα αέρα (PTAC with Heat pump)

- Τετρασωλήνιο σύστημα από fan coils με ψύκτη και ηλεκτρικό θερμαντήρα (boiler)

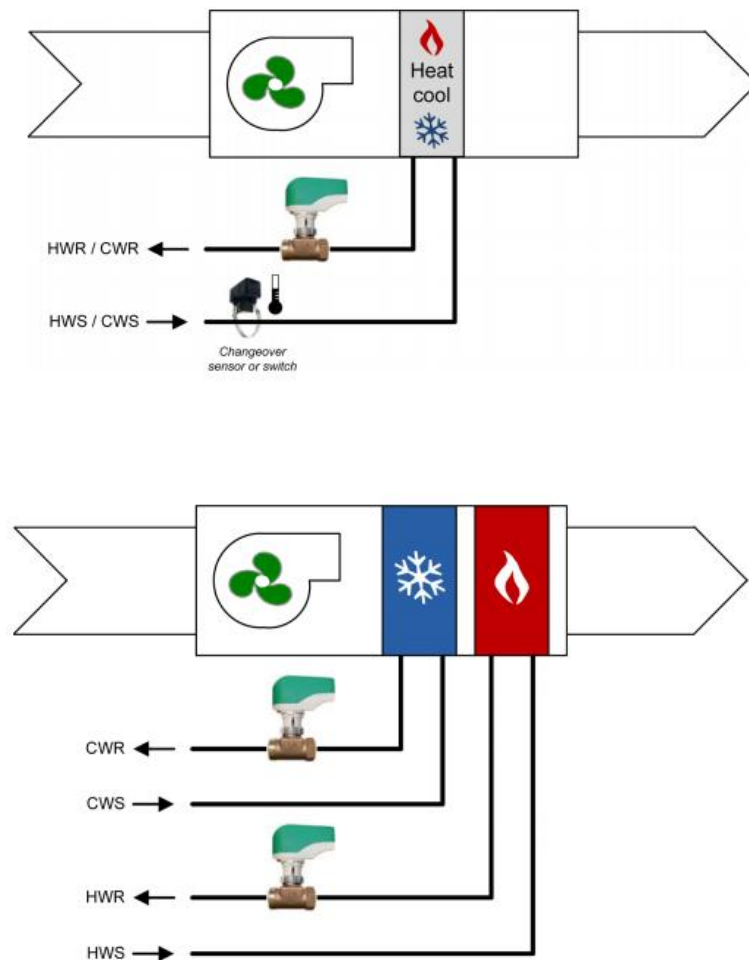
Το σύστημα ψύξης και θέρμανσης με fan coils είναι το πιο απλό από τα συστήματα που εξετάστηκαν σε αυτή τη διπλωματική. Αποτελείται από 4 σωλήνες στους οποίους διαρρέεται νερό, το οποίο διέρχεται είτε από ένα ηλεκτρικό θερμαντήρα για ανάγκες θέρμανσης και αυξάνει την θερμοκρασία του είτε από έναν chiller με αερόψυκτο συμπληκνωτή για ανάγκες ψύξης (Σχήμα 5.22). Στη συνέχεια το νερό ανταλλάσει θερμότητα με τον αέρα, ο οποίος οδηγείται στη συνέχεια στον εσωτερικό χώρο, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία. Ένα πλεονέκτημα αυτής της διάταξης σε σχέση με ένα δισωλήνιο σύστημα, είναι ότι υπάρχει δυνατότητα ταυτόχρονης θέρμανσης και ψύξης. Αυτό οφείλεται στην διαφορετική λειτουργία του συστήματος, ανάλογα με τον αριθμό των σωληνώσεων, η οποία απεικονίζεται στο Σχήμα 5.23.

Στο δισωλήνιο σύστημα ένα σωληνάκι (coil) συνδέεται με την παροχή και την επιστροφή και επομένως μπορεί να διαρρέεται είτε από κρύο νερό είτε από ζεστό. Δηλαδή είναι προκαθορισμένο το αν ο αέρας θα είναι ψυχρός ή θερμός, ανάλογα με το αν έχει συνδεθεί με τη μονάδα ο ψύκτης ή ο θερμαντήρας. Η εναλλαγή από ζεστό σε κρύο και το ανάποδο, γίνεται είτε με αισθητήρα εσωτερικής θερμοκρασίας, είτε χειροκίνητα

Αντίθετα το τετρασωλήνιο σύστημα αποτελείται από διαφορετικά σωληνάκια (coils) για ψύξη και για θέρμανση. Επομένως μπορούν ταυτόχρονα να διαρρέονται από νερό που διέρχεται και από ψύκτη και θερμαντήρα για να εξυπηρετούν ανάγκες ταυτόχρονης ψύξης και θέρμανσης.



Σχήμα 5.22: Διάταξη συστήματος κλιματισμού τετρασωλήνιο σύστημα fan coil



Σχήμα 5.23: Σχηματική απεικόνιση διάταξη δισωλήνιου και τετρασωλήνιο συστήματος fan coil {13}

Τα στοιχεία που εισήχθησαν στο eQuest παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.24 ÷ 5.25. Γενικά δεν αλλάζονται οι παράμετροι που προτείνει ο κώδικας, εκτός από το προεπιλεγμένο είδος του θερμαντήρα (boiler), που ήταν με καύση φυσικού αερίου, ενώ επιλέχτηκε τελικά ο ηλεκτρικός.

HVAC System Definitions

Describe Up To 2 HVAC System Types

System 1

Cooling Source: Chilled Water Coils

Heating Source: Hot Water Coils

Hot Water Src: Hot Water Loop

System Type: 4-Pipe Fan Coils with HW Heat

Σχήμα 5.24: Εισαγωγή στοιχείων στο eQuest για το τετρασωλήνιο σύστημα για ψύξη και θέρμανση

Describe Up To 2 Chillers

Chiller 1

Chiller Type(s): Electric Reciprocating Hermetic

Condenser Type(s): Packaged Air-Cooled

Chiller Counts & Sizes: 1 Auto-size <150 tons

Chiller Efficiency: 1.302 kW/ton

Describe Up To 2 Boilers

Boiler 1

Boiler Type(s) / Fuel: Electric HW Boiler Electricit

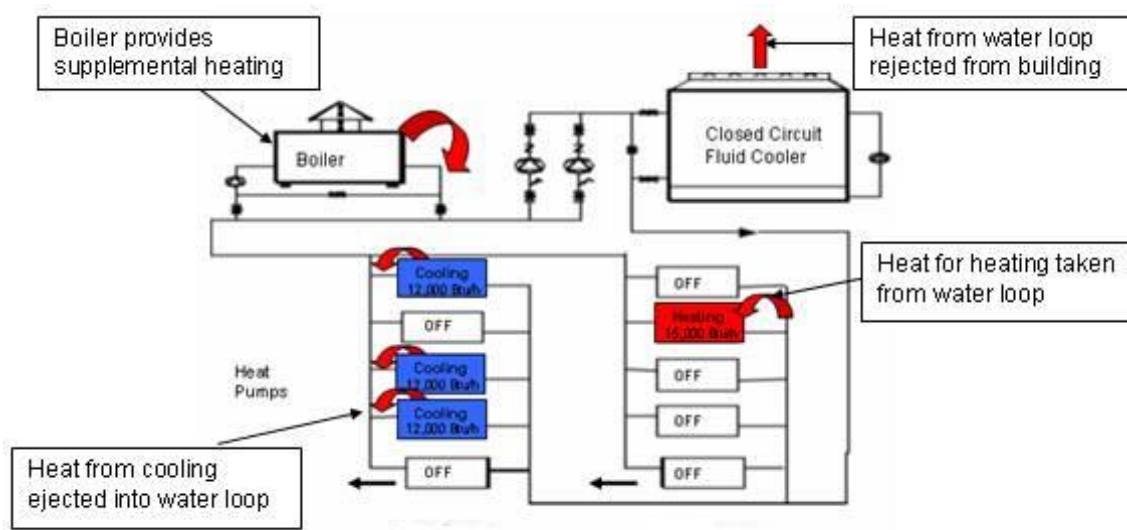
Boiler Count / Output: 1 Auto-size 300 - 2,500 kB

Boiler Efficiency: 98.0 % Efficiency

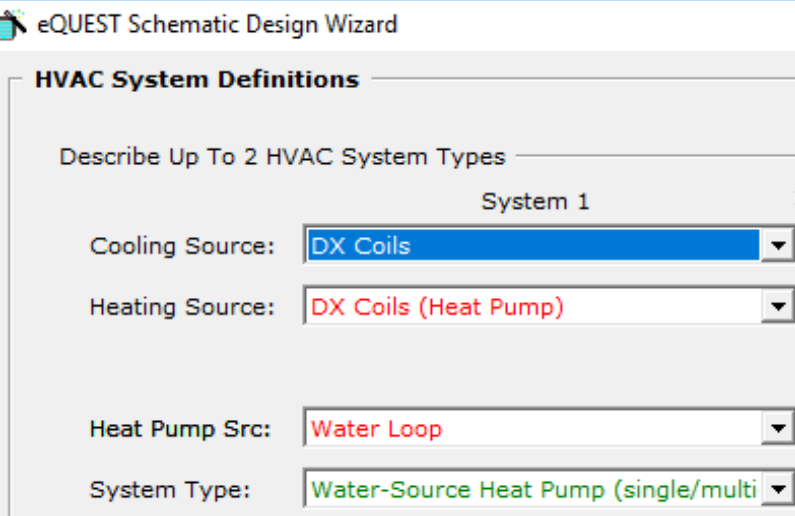
Σχήμα 5.25: Εισαγωγή στοιχείων στο eQuest για τον ψύκτη και τον ηλεκτρικό θερμαντήρα

- Αντλία θερμότητας νερού νερού με πύργο ψύξης και ηλεκτρικό θερμαντήρα

Στο σύστημα αυτό, η αντλία θερμότητας νερού νερού συνεργάζεται με έναν ηλεκτρικό θερμαντήρα ή με έναν πύργο ψύξης τύπου dry cooler ανάλογα, με το αν υπάρχει ανάγκη για θέρμανση ή ψύξη. Στην συνέχεια, το ζεστό ή κρύο νερό συναλλάσσει θερμότητα με τον αέρα, ο οποίος μέσω ενός ανεμιστήρα εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο. Στα Σχήματα 5.26 ÷ 5.29 παρουσιάζεται ενδεικτική σχηματική απεικόνιση του συστήματος και ο τρόπος εισαγωγής του στο λογισμικό.



Σχήμα 5.26: Σχηματική απεικόνιση αντλίας θερμότητας νερού νερού με πύργο ψύξης και ηλεκτρικό θερμαντήρα {14}



eQUEST Schematic Design Wizard

HVAC System Definitions

Describe Up To 2 HVAC System Types

System 1

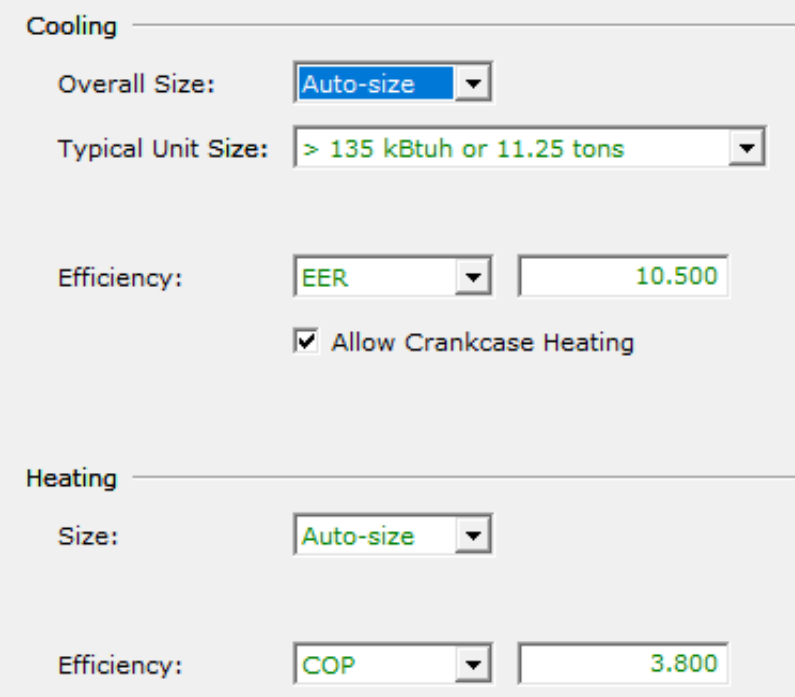
Cooling Source: DX Coils

Heating Source: DX Coils (Heat Pump)

Heat Pump Src: Water Loop

System Type: Water-Source Heat Pump (single/multi)

Σχήμα 5.27: Εισαγωγή δεδομένων στο eQuest για το σύστημα κλιματισμού με αντλία θερμότητας νερού νερού



Cooling

Overall Size: Auto-size

Typical Unit Size: > 135 kBtuh or 11.25 tons

Efficiency: EER 10.500

Allow Crankcase Heating

Heating

Size: Auto-size

Efficiency: COP 3.800

Σχήμα 5.28: Εισαγωγή δεδομένων στο eQuest για τις μονάδες ψύξης και θέρμανσης

The screenshot shows the configuration interface for HVAC units in eQuest. It is divided into two main sections: 'Water-Cooled Condenser / Cooling Tower' and 'Boiler'.

Water-Cooled Condenser / Cooling Tower configuration:

- Configuration: Dry Cooler
- Capacity Control: One Speed Fan
- Fan Efficiency: High

Boiler configuration:

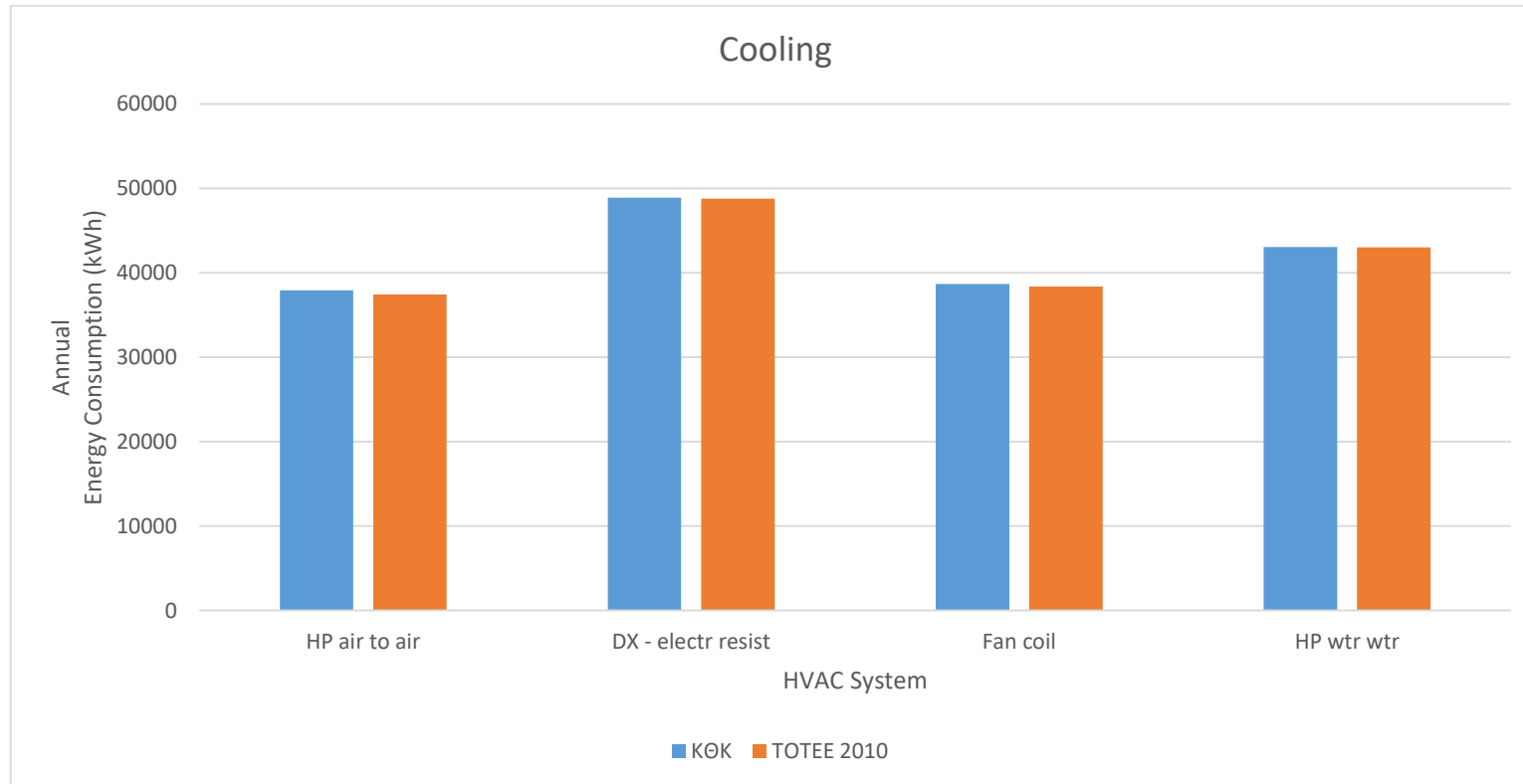
- Blr Type / Fuel: Electric HW Boiler
- Fuel: Electricit
- Count / Output: 1
- Auto-size: Auto-size
- Output Range: 300 - 2,500 kW
- Effic. / Elec Dem.: 98.0 %
- Efficiency: Effici

Σχήμα 5.29: Εισαγωγή δεδομένων στο eQuest για τις μονάδες ψύξης και θέρμανσης

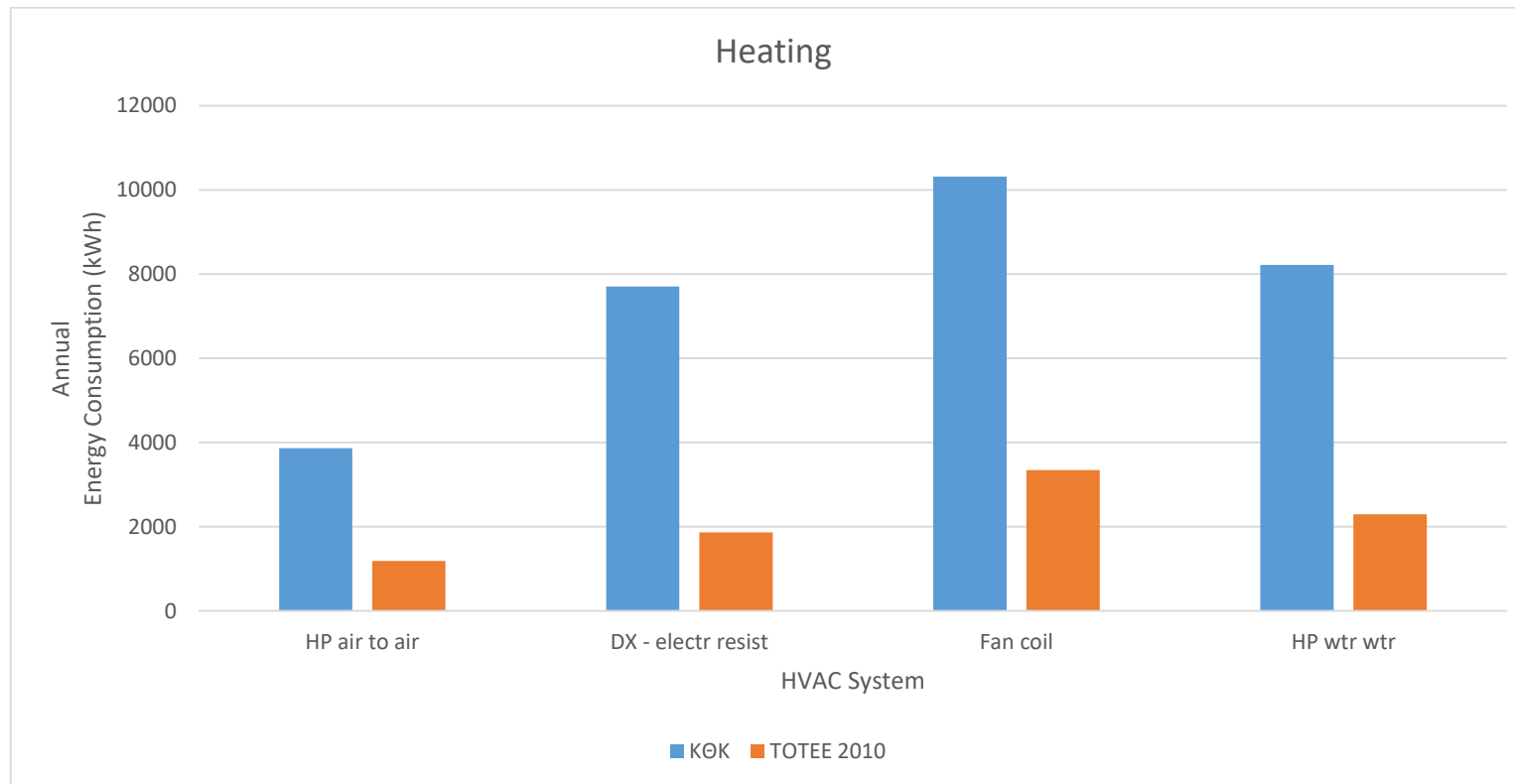
Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τα προαναφερόμενα συστήματα HVAC και για τις δύο προδιαγραφές θερμομόνωσης που ίσχυαν στην Ελλάδα, παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.30 ÷ 5.32.

Όσον αφορά την επίδραση της θερμομόνωσης, είναι εμφανές πως οι διαφορετικές απαιτήσεις θερμομόνωσης για τα δύο κτίρια, δεν έχουν ουσιαστική επίδραση στις ετήσιες καταναλώσεις για ψύξη. Παρόλ' αυτά παρατηρείται μία μικρή μείωση με την εφαρμογή των πιο αυστηρών απαιτήσεων. Αντίθετα η μείωση στην κατανάλωση για θέρμανση του κτηρίου είναι πολύ σημαντική. Συνολικά, η εξοικονόμηση της ολικής απαιτούμενης ενέργειας για ψύξη και θέρμανση λόγω της αύξησης της θερμικής αντίστασης του κελύφους (μικρότερες τιμές U value) κυμαίνεται από 7.5 έως 15%.

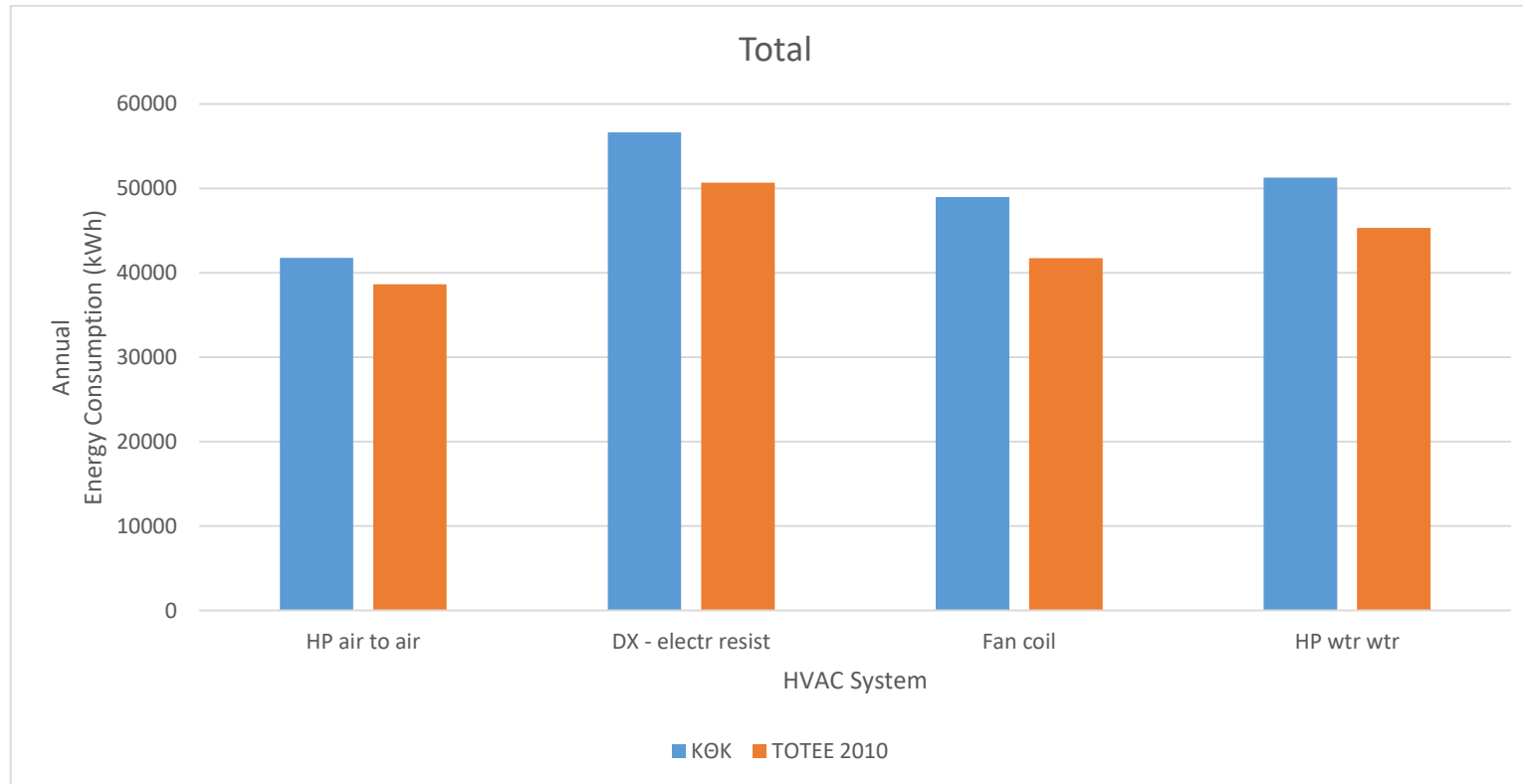
Όσον αφορά τα διαφορετικά συστήματα HVAC, η αντλία θερμότητας αέρα αέρα, φαίνεται να είναι συνολικά η πιο συμφέρουσα. Το σύστημα με την αντλία θερμότητας νερού και τα fan coils δεν έχουν σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ τους. Η αντλία θερμότητας αέρα αέρα σε σχέση με το σύστημα με τα dx coils και την ηλεκτρική αντίσταση, προσφέρει τη δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας έως και 23.7% για ψύξη και θέρμανση μαζί. Για την ψύξη αποκλειστικά ως πιο συμφέρουσα λύση φαίνεται να είναι η αντλία θερμότητας και τα fan coils με μικρή διαφορά μεταξύ τους, ενώ για θέρμανση η αντλία θερμότητας αέρα αέρα απαιτεί σαφώς μικρότερη κατανάλωση



Σχήμα 5.30: Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση που απαιτείται για ψύξη, για κάθε σύστημα HVAC και για κτίριο σύμφωνα με τον κανονισμό ΚΘΚ και ΤΟΤΕΕ 2010.



Σχήμα 5.31: Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση που απαιτείται για θέρμανση, για κάθε σύστημα HVAC και για κτίριο σύμφωνα με τον κανονισμό ΚΘΚ και ΤΟΤΕΕ 2010.



Σχήμα 5.32: Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση που απαιτείται για ψύξη και θέρμανση, για κάθε σύστημα HVAC και για κτίριο σύμφωνα με τον κανονισμό ΚΘΚ και TOTEE 2010.

5.6 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό μοντελοποιήθηκε το κτίριο για διαφορετικά σενάρια λειτουργίας και υλικών κατασκευής. Αρχικά εξετάστηκε η επίδραση στην ενεργειακή κατανάλωση των πιο αυστηρών απαιτήσεων θερμομόνωσης και διαπιστώθηκε ότι μειώνονταν και τα θερμικά φορτία αλλά και τα ψυκτικά με μείωση της συνολικής ενέργειας της τάξης του 9.3%.

Στη συνέχεια, υπολογίστηκε πως με χωροθέτηση διαφορετικού προσανατολισμού του κτιρίου στο χώρο μπορεί να επιτευχθεί μείωση έως και 4.6% της κατανάλωσης που απαιτείται για ψύξη και θέρμανση.

Κατόπιν μεταβάλλοντας μόνο το πάχος μόνωσης της εξωτερικής τοιχοποιίας, αφήνοντας αμετάβλητο το πάχος μόνωσης της οροφής και των κουφωμάτων διαπιστώθηκε σημαντική μείωση της απαιτούμενης θερμικής ενέργειας και επομένως της συνολικής όπως ήταν αναμενόμενο, αλλά μικρή αύξηση της απαιτούμενης ψυκτικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα για πάχος μόνωσης 4inch υπολογίστηκε μείωση των θερμικών απαιτήσεων κατά 78.5% σε σχέση με ένα κτίριο χωρίς καθόλου μόνωση.

Τέλος συγκρίθηκαν μεταξύ τους τα εξής συστήματα HVAC: PTAC (Packaged Terminal Air Conditioner) με ηλεκτρική αντίσταση, PTAC με αντλία θερμότητας, Fan coil με ψύκτη και ηλεκτρικό θερμαντήρα και τέλος αντλία θερμότητας νερού νερού για τις διαφορετικές απαιτήσεις θερμομόνωσης. Συγκρίνοντας τους κανονισμούς μεταξύ τους, παρατηρήθηκε ότι δεν υπήρξε σημαντική μείωση στην ενεργειακή κατανάλωση για ψύξη, αλλά είναι εμφανής η διαφοροποίηση για θέρμανση. Από τα συστήματα το περισσότερο κοστοβόρο ενεργειακά υπολογίστηκε πως είναι το σύστημα PTAC με ηλεκτρική αντίσταση ενώ το λιγότερο το PTAC με αντλία θερμότητας. Το σύστημα των Fan Coils και της αντλίας θερμότητας νερού νερού δίνουν παραπλήσια αποτελέσματα. Να σημειωθεί πως οι καταναλώσεις αυτές προκύπτουν για δεδομένη ισχύ μηχανημάτων όπως αυτή προτείνεται και έχει προκαθοριστεί από το λογισμικό eQuest.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 Τελικά συμπεράσματα

Στη διπλωματική αυτή διερευνήθηκε αρχικά η αξιοπιστία των προγραμμάτων πρόβλεψης ενεργειακής κατανάλωσης κτιρίων και στη συνέχεια εξετάστηκε η επίδραση παραμέτρων όπως η μόνωση του κελύφους, ο προσανατολισμός του κτιρίου και το σύστημα HVAC στις ενεργειακές απαιτήσεις. Στα ενεργειακά μοντέλα εισάγονται δεδομένα όπως η γεωμετρία του κτιρίου, τα υλικά κατασκευής του κελυφους, το ωράριο λειτουργίας του κτιρίου, το σύστημα HVAC και τα κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής, δηλαδή τις καιρικές συνθήκες που καταγράφηκαν σε κάποιο συγκεκριμένο έτος του παρελθόντος.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την βιβλιογραφική ανασκόπηση, είναι τα εξής:

- ❖ Τα τελευταία 70 χρόνια η ενεργειακή κατανάλωση έχει πενταπλασιαστεί. Το 38.7% της συνολικής ενέργειας δαπανάται σε κτίρια (εμπορικά και μη). Το μεγαλύτερο ποσοστό (32%) καταναλώνεται για κλιματισμό-θέρμανση και αερισμό (σύστημα HVAC).
- ❖ Η χρήση ενεργειακών μοντέλων έχει αναγνωριστεί και χρησιμοποιείται από επίσημους φορείς αειφόρου ανάπτυξης όπως ο USGBC και ο BRE, ως εργαλείο εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια.
- ❖ Δύο παράγοντες που επιδρούν καθοριστικά στην τελική ενεργειακή κατανάλωση κτιρίων και δεν μπορούν να προβλεφθούν με ακρίβεια, είναι ο ανθρώπινος παράγοντας και η διαφοροποίηση των καιρικών συνθηκών σε επόμενα έτη σε σχέση με το έτος μελέτης του κτιρίου.
- ❖ Η συμπεριφορά του ανθρώπου οφείλεται σε κοινωνικούς, οικονομικούς και προσωπικούς παράγοντες, οι οποίοι δεν λαμβάνονται υπ' όψιν, κατά την ενεργειακή μοντελοποίηση.
- ❖ Η επίδραση της μεταβολής των καιρικών συνθηκών σε επερχόμενα έτη στις ενεργειακές απαιτήσεις, μπορεί να μειωθεί, προσομοιώνοντας το κτίριο για πολλαπλά διαφορετικά έτη για τα οποία υπάρχουν κλιματολογικά δεδομένα και λαμβάνοντας τις μέσες τιμές τους ως τελική πρόβλεψη των καταναλώσεων.

- ❖ Γενικά, τα προγράμματα προσομοίωσης δίνουν σχετικά ικανοποιητικά αποτελέσματα όσον αφορά την ακριβή πρόβλεψη των καταναλώσεων. Κατά την μελέτη μεμονωμένων κτιρίων, μπορεί να εντοπιστούν σημαντικές αποκλίσεις των υπολογισμένων καταναλώσεων από τις πραγματικές αλλά η συνολική εκτιμώμενη κατανάλωση για πολλά κτίρια μαζί είναι περίπου ίση με την πραγματική. Κυρίως τα λογισμικά αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά το στάδιο μελέτης ενός κτιρίου για την επιλογή των βέλτιστων επιλογών ως προς την εξοικονόμηση ενέργειας.
- ❖ Ο προσανατολισμός του κτιρίου, επιδρά σαφώς τόσο στα θερμικά όσο και στα ψυκτικά φορτία. Γι αυτό προτείνεται, αν υπάρχει δυνατότητα, να επιλέγεται η βέλτιστη χωροθέτηση του κτιρίου, ώστε να μειώνονται οι ενεργειακές απαιτήσεις. Η διαφοροποίηση αυτή στην ενεργειακή κατανάλωση οφείλεται στο σχήμα του κτιρίου και στη διαφοροποίηση των ανοιγμάτων σε κάθε πλευρά του. Η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στον χώρο αφ ενός μειώνει τις απαιτήσεις τεχνητού φωτισμού και άρα οδηγεί σε εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά αφ ετέρου αυξάνει τα θερμικά κέρδη.
- ❖ Όλες οι υπάρχουσες μελέτες αναφέρουν πως η αύξηση του πάχους μόνωσης του κελυφους προκαλεί σημαντική μείωση της απαιτούμενης θερμικής ενέργειας. Για την ψυκτική ενέργεια όμως, κάποια συμπεράσματα είναι αντικρουόμενα καθώς κάποιοι μελετητές αναφέρουν μείωση της κατανάλωσης ενώ άλλοι μικρή αύξηση. Σε κάθε περίπτωση βέβαια, παρατηρείται σαφής μείωση στην συνολικά απαιτούμενη ενέργεια για το σύστημα HVAC, καθώς η εξοικονόμηση της θερμικής ενέργειας είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με την ενδεχόμενη αύξηση της ψυκτικής.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την ενεργειακή μοντελοποίηση του κτιρίου, είναι τα εξής:

- ❖ Με τις πιο αυστηρές απαιτήσεις σύμφωνα με τις TOTEE 2010 σε σχέση με τις προϋπάρχουσες του ΚΘΚ, μπορεί να επιτευχθεί μείωση των συνολικών απαιτήσεων για ψύξη και θέρμανση έως 9.3%. Επίσης παρατηρείται επιμέρους μείωση τόσο στις θερμικές όσο και στις ψυκτικές καταναλώσεις.

- ❖ Στη συνέχεια, υπολογίστηκε πως με χωροθέτηση διαφορετικού προσανατολισμού του κτιρίου στο χώρο μπορεί να επιτευχθεί μείωση έως και 4.6% της κατανάλωσης που απαιτείται για ψύξη και θέρμανση.
- ❖ Μεταβάλλοντας μόνο το πάχος μόνωσης της εξωτερικής τοιχοποιίας, αφήνοντας αμετάβλητη τη θερμική αντίσταση της οροφής και των κουφωμάτων διαπιστώθηκε σημαντική μείωση της απαιτούμενης θερμικής ενέργειας, αλλά μικρή αύξηση της απαιτούμενης ψυκτικής ενέργειας. Η συνολική κατανάλωση μειώθηκε. Πιο συγκεκριμένα για πάχος μόνωσης 4inch υπολογίστηκε μείωση των θερμικών απαιτήσεων κατά 78.5% σε σχέση με ένα κτίριο χωρίς καθόλου μόνωση.
- ❖ Συγκρίνοντας μεταξύ τους τα εξής συστήματα HVAC: PTAC (Packaged Terminal Air Conditioner) με ηλεκτρική αντίσταση, PTAC με αντλία θερμότητας, Fan coil με ψύκτη και ηλεκτρικό θερμαντήρα και τέλος αντλία θερμότητας νερού νερού, προέκυψε ότι το περισσότερο κοστοβόρο ενεργειακά είναι το σύστημα PTAC με ηλεκτρική αντίσταση ενώ το λιγότερο το PTAC με αντλία θερμότητας. Το σύστημα των Fan Coils και της αντλίας θερμότητας νερού νερού δίνουν παραπλήσια αποτελέσματα. Να σημειωθεί πως οι καταναλώσεις αυτές προκύπτουν από δεδομένη ισχύ μηχανημάτων όπως προτείνεται και έχει προκαθοριστεί από το λογισμικό eQuest.
- ❖ Συγκρίνοντας τους κανονισμούς θερμομόνωσης μεταξύ τους για τα διαφορετικά συστήματα HVAC, παρατηρήθηκε ότι δεν υπήρξε σημαντική μείωση στην ενεργειακή κατανάλωση για ψύξη, αλλά είναι εμφανής η διαφοροποίηση για θέρμανση.

6.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Με βάση όσα έχουν αναφερθεί στην παρούσα διπλωματική, ακολουθούν προτάσεις για μελλοντική έρευνα:

- ❖ Δεδομένου ότι η ανθρώπινη συμπεριφορά επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων, προτείνεται να μελετηθεί αυτή η συμπεριφορά σε σχέση με κοινωνικο-οικονομικά και προσωπικά κριτήρια του

ατόμου για να εξαχθούν μοντέλα συμπεριφοράς, τα οποία στη συνέχεια θα μπορούν να εισαχθούν στα αντίστοιχα λογισμικά

- ❖ Προτείνεται να εξεταστεί περαιτέρω η επίδραση της μεταβολής της θερμικής αντίστασης του κελύφους στις ψυκτικές απαιτήσεις και μάλιστα για κάθε στοιχείο ξεχωριστά. Δηλαδή η αύξηση της μόνωσης μόνο της οροφής ή μόνο της περιβάλλουσας τοιχοποιίας.
- ❖ Προτείνεται επανάληψη των προσομοιώσεων με διαφορετικό λογισμικό για σύγκριση των αποτελεσμάτων.
- ❖ Προτείνεται επανάληψη των προσομοιώσεων για διαφορετικές ισχύς των μηχανημάτων των συγκεκριμένων συστημάτων HVAC, ώστε να διαπιστωθούν μεταβολές στις τελικές ενεργειακές καταναλώσεις
- ❖ Προτείνονται προσομοιώσεις επιπλέον συστημάτων HVAC ώστε να προσδιοριστεί το βέλτιστο ενεργειακά

ΕΝΤΥΠΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Kenneth A. Walz, Joel B. Shoemaker, Preparing the Future Sustainable Energy Workforce and The Center for Renewable Energy Advanced Technological Education, Journal of Sustainability Education Vol. 13, March 2017 ISSN: 2151-7452,

[2] Βασίλειος Τσεκερης, 2015, Διπλωματική Εργασία με θέμα: “Ενεργειακή μελέτη κτιρίου με το πρόγραμμα ενεργειακής προσομοίωσης eQuest”

[3] Wei Wu, Harrison M. Skye, Piotr A. Domanski , Selecting HVAC systems to achieve comfortable and cost-effective residential net-zero energy buildings.

[4] Nur Najihah Abu Bakar et al (2015), Energy efficiency index as an indicator for measuring building energy performance: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, [Volume 44](#), April 2015, Pages 1-11

[5] Hongting Ma, Na Du, Shaojie Yu, Wenqian Lu, Zeyu Zhang, Na Deng, Cong Li, Analysis of typican public building energy consumption in northern China, Energy and Buildings 136, 2017, p 139-150

[6] Elham Delzende, Song Wu, Angela Lee, Ying Zhou, The impact of occupants' behaviours on building energy analysis A research review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 80, 2017, p 1061-1071

[7] Schakib-Ekbatan K Cakici, Schweiker M., Wagner A, Does the occupant behavior match the energy concept of the building, Build Environ 2015, 84:142-50

[8] Martinaitis V., Zavadskas EK., Motuziene V., Vilutiene T., Importance of occupancy information when simulating energy demand of energy efficient house: a case study. Energy Build. 2015, 101:64-50

[9] Mark Frankel, Cathy Turner, How accurate is Energy Modeling in the Market, New Buildings Institute, ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings 2008, 3-88:101

[10] Sy-Jye Guo, Taibing Wei, Cost-effective Saving measures based on BIM technology: Case study at National Taiwan University, Energy and Buildings 127, 2016, 433-441

[11] A. Boyano, P. Hernandez, O. Wolf, Energy demands and potential savings in European office buildings: Case studies based on EnergyPlus simulations, Energy and Buildings 65, 2013, 19-28

[12] F.H. Abanda, L. Byers, An investigation of the impact of building on energy consumption in a domestic building using BIM (Building Information Modelling), Energy 97, 2016, 517-527

[13] Wong KD, Fan Q., Building information Modelling (BIM) for sustainable building design, Facilities 2013:31(3/14):138-57

[14] E. Bellos, C. Tzivanidis, A. Kouvari, K.A. Antonopoulos, Comparison of Heating and Cooling Loads of a Typical Building with TRNSYS and eQuest, Energy Transportation and Global Warming, 2016, Ch. 25

[15] M. A. Ebel Saleh, Impact of thermal insulation location on buildings in hot dry climates, Solar and Wind Technology Vol 7, 1990, No 4, pp 393-406

[16] Zhang Lianying, Wang Yuan, Zhang Jiyuan, Liu Xing, Zhang Linhua, Numerical Study of Effects of Wall's insulation thickness on Energy Performance for Different Climatic Regions of China, The 7th International Conference on Applied Energy, ICAE 2015, Energy Procedia 75, p 1290-1298

[17] Yuchen Wang, Mohamad Iskandar Jobli, Caidan Zheng a,b, Xiaokun Yang, Ketong Li, Thickness of Building External Insulation in Chongqing Based on Intermittent Heating Supply, 10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning, ISHVAC 2017 China, Procedia Engineering 205, 2015, p. 2755-2761

[18] Toktam Bashirzadeh Tabrizi, Glen Hill, Mathew Aitchison, The impact of different insulation options on the life cycle energy demands of a hypothetical residential building, International High- Performance Built Environment Conference – A sustainable Built Environment Conference 2016 Series (SBE16), iHBE16, Procedia Engineering 180 (2017), p. 128-135

[19] Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Τεύχος Τέταρτο, Αρ. Φύλλου 362, 9 Απριλίου 2010

[20] Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, ΤΟΤΕΕ 20701-2/2010

[21] Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Τεύχος Δεύτερο, Αρ. Φύλλου 407, 4 Ιουλίου 1979

[22] Mike Medas et al.,(2015) Towards BIM-integrated, resource-efficient building services, CIBSE Technical Symposium, London, UK 16-17 April 2015

James J. Hirsch and associates, eQuest Introductory tutorial, v 3.64, 2010

[23] Καλούρης Χαράλαμπος, πτυχιακή εργασία με θέμα "εξωμοίωση ενεργειακών απαιτήσεων κτηρίων με τον κώδικα eQuest", Πάτρα 2015

[24] eQuest Help Menu, Doe-2

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

{1}<http://www.desmie.gr/ape-sithya/adeiodotiki-diadikasia-kodikopoiisi-nomothesias-ape/periechomena/biomaza-biokaysima/>

{2}ROBERT RAPIER(2012), Global Carbon Dioxide Emissions — Facts and Figures ,
2 June 2012, <http://www.energytrendsinsider.com>

{3}<http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/7765094.stm>

{4}<https://whalencompany.com/resource/news/21-category-fan-coil-units>

{5}<http://aenaos-news.gr/2-uncategorised/1-inverter>

{6}<http://theengineeringmindset.com/chiller-cooling-tower-air-handling-unit-work-together/>

{7}<http://theengineeringmindset.com/air-cooled-chillers-work/>

{8}https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_heating

{9}http://www.daviddarling.info/encyclopedia/E/AE_electric_resistance_heating.html

{10}<http://www.shamrockplumbingfl.com/>

{11}<https://el.wikipedia.org/wiki/Αντλία> θερμότητας

{12}https://www.ajmadison.com/guides/air_conditioner/ptac/

{13}<http://www.neptronic.com/TechTime/20150716/Whats%20the%20Difference.pdf>

{14}http://www.iklimnet.com/expert_hvac/hvac_applications/hvac_applications_water_source_heatpump_systems.html