



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΔΟΜΗΜΕΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Διπλωματική εργασία

ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΤΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΟ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ



ΕΛΕΝΗ ΠΥΛΟΥΔΗ

A.M.: 2008050035

Τριμελής επιτροπή:

Δ. Κολοκοτσά (Επιβλέπουσα)

Θ. Τσούτσος

Π. Γκίκας

Χανιά

Σεπτέμβριος 2013

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αυτή η εργασία επισφράγισε τις προπτυχιακές μου σπουδές στο τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης στις οποίες θα δυσκολευόμουν πολύ παραπάνω αν δεν είχα τη βοήθεια και την υποστήριξη κάποιων κοντινών μου προσώπων.

Κατά τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας προέκυψαν πολλά και διαφορετικού μεγέθους προβλήματα τα οποία δε θα λυνόταν αν δεν είχα την καθοδήγηση της επίκουρης καθηγήτριας κ. Διονυσίας Κολοκοτσά και του υποψήφιου διδάκτορα κ. Σωτήρη Παπαντωνίου, που με τις επιστημονικές τους γνώσεις και την υπομονή τους μου έδωσαν πολλά εφόδια.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Τσούτσο και τον κ. Γκίκα για το χρόνο που διέθεσαν για τη μελέτη και παρουσίαση της διπλωματικής μου εργασίας.

Ανεκτίμητη επίσης ήταν τόσο η βοήθεια όσο και η συμπαράσταση όλων των φίλων και συμφοιτητών μου που στάθηκαν δίπλα μου στα πέντε χρόνια σπουδών και ιδιαιτέρως θέλω να ευχαριστήσω τον Ν. Βαβλά, την Ι. Παναγέα και το Ν. Γκούφα που συνετέλεσαν στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας με την υποστήριξή τους.

Τέλος, θα ήταν μεγάλη μου παράλειψη αν δεν ευχαριστούσα εγκάρδια τους γονείς μου και τον αδερφό μου που χωρίς την υποστήριξη και τις υποδείξεις τους δε θα πετύχαινα το βέλτιστο που μπορούσα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα από τα κυριότερα προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει η σημερινή κοινωνία είναι η κλιματική αλλαγή που χρόνο με το χρόνο γίνεται όλο και πιο έντονη. Η άποψη ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες είναι πιθανόν υπεύθυνες για το μεγαλύτερο μέρος της παρατηρούμενης αύξησης της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη («φαινόμενο του θερμοκηπίου») από τα μέσα του 20ου αιώνα είναι μια ακριβής αντανάκλαση της τρέχουσας επιστημονικής σκέψης. Τα τελευταία 20 χρόνια έχει παρατηρηθεί σημαντική αύξηση τόσο των απαιτήσεων πρωτογενούς ενέργειας όσο και των ηλεκτρικών αναγκών. Αυτή η αύξηση σε συνδυασμό με την επίδραση της υπερθέρμανσης του πλανήτη καθιστά επιτακτική την ανάγκη λήψης κατάλληλων μέτρων. Τα κτίρια ευθύνονται κατά ένα πολύ σημαντικό ποσοστό για το σύνολο των εκπομπών που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, τα κτίρια είναι υπεύθυνα για περίπου το 40% της πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας και για το 25% των εκπομπών CO₂ [1]. Τα Κτίρια Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης έχουν μεγάλες δυνατότητες να προσφέρουν πολύ σημαντική βοήθεια στην εξάλειψη των προβλημάτων που σχετίζονται με την υποβάθμιση του περιβάλλοντος και την εξάντληση των διαθέσιμων πηγών ενέργειας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μία προσπάθεια μετατροπής ενός ήδη υπάρχοντος κτιρίου, κτίριο K2 των Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης, σε Κτίριο Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης. Αρχικά, χρησιμοποιώντας το λογισμικό TRNSYS βρέθηκαν οι ενεργειακές απαιτήσεις του μοντελοποιημένου κτιρίου και στη συνέχεια το κτίριο υποβλήθηκε σε αλλαγές στο κελυφός του (μόνωση στην τοιχοποιία και στην οροφή, εφαρμογή ψυχρού υλικού στην εξωτερική τοιχοποιία και αντικατάσταση υαλοπινάκων) στα εσωτερικά του κέρδη (αντικατάσταση λαμπτήρων και υπολογιστών) και στο σύστημα λειτουργίας του (αλλαγή στη ρύθμιση της ποσότητας του παρεχόμενου αερισμού στο κτίριο και της θερμοκρασίας των κοινόχρηστων χώρων) με σκοπό τη μείωση της απαιτούμενης ενέργειας. Τα μέτρα αυτά συγκρίθηκαν μεταξύ τους τόσο ως κατηγορίες όσο και ως μεμονωμένα σενάρια εξοικονόμησης. Το επόμενο βήμα για να μετατραπεί το ήδη υπάρχον κτίριο σε Κτίριο Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης ήταν η προσθήκη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (φωτοβολταϊκού συστήματος και ανεμογεννητριών), κάνοντας χρήση του προγράμματος HOMER, έτσι ώστε να παράγεται η ενέργεια που απαιτείται με εκμετάλλευση αστείρευτων πηγών ενέργειας όπως είναι ο ήλιος και ο άνεμος.

Ασφαλώς η οικονομική πλευρά μίας έρευνας είναι αναπόσπαστο κομμάτι όταν τα αποτελέσματα στόχο έχουν την εφαρμογή στην πραγματικότητα. Ωστόσο, στην παρούσα εργασία έγινε μετατροπή του υπάρχοντος κτιρίου σε Κτίριο Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης εστιάζοντας καθαρά στην ενεργειακή εξοικονόμηση και όχι στο κόστος επένδυσης και λειτουργίας των αλλαγών που προτάθηκαν. Για την εφαρμογή αυτών των προτεινόμενων σεναρίων είναι απαραίτητη και η οικονομική μελέτη σε μελλοντική εργασία.

ABSTRACT

One of the most controversial global issues facing society, nowadays, is the climate change that every year becomes more intense. The view that human activities are likely responsible for most of the observed increase in global mean temperature ("global warming") since the mid-20th century is an accurate reflection of current scientific thinking. The last 20 years have shown a significant increase both on primary energy requirements and electrical demands. The combination of this increase with the effect of global warming makes it necessary to take appropriate measures. Buildings account for one very important figure for the total emissions associated with energy consumption. In the European Union, buildings are responsible for 40% of primary energy consumption and 25% of greenhouse emissions [1]. Zero Energy Buildings have great potential to alleviate the problems associated with environmental degradation and depletion of available energy sources.

The present dissertation aims at the retrofitting of a present office building, the building K2 of Environmental Engineers at Technical University of Crete, towards a Net Zero Energy Building (NZEB). After the modeling of the building and the calculation of its energy demands on TRNSYS software, the first target is to find ways to reduce the energy consumption as much as possible. This energy consumption is achieved by making changes on the façade of the building (thermal insulation on external walls and ceiling, cool material on the external walls and replacement of windows), on the internal conditions (replacement of the present lights and computers) and on building services systems (changes on heating, cooling and ventilation settings). These measures are compared and contrasted with each other considering both the proposed scenarios as group of measures and individual measure separately. The next step is the implementation of Renewable Energy Sources (photovoltaic panels and wind turbines) by using HOMER software in order to produce the equal quantity of the minimized energy used by building.

Obviously, the financial aspect of a survey is an important factor when the results are to be implemented on a real building. However, in the present work a retrofit of a building towards a Net Zero Energy Building is achieved concerning only the energy saving rather than the investment and operating costs of the changes proposed. For the implementation of these proposed scenarios, the financial aspect is necessary to be studied in future, as well.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	6
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	6
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	7
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΑ ΚΤΙΡΙΑ	1
1.2 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	1
1.3 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΠΟΥ ΣΤΕΓΑΖΟΥΝ ΓΡΑΦΕΙΑ....	3
1.4 ΚΤΙΡΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	3
1.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΤΙΡΙΩΝ ΧΑΜΗΛΗΣ ΚΑΙ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	5
1.6 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΠΟΔΟΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ	10
1.7 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ	11
Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	12
Μικρές Ανεμογεννήτριες	13
1.8 TRNSYS και HOMER SOFTWARE	14
TRNSYS software[22].....	14
HOMER software[23].....	15
1.9 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	15
2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	18
3 ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ	20
3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΟΥ	20
3.2 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ.....	22
3.3 ΩΡΑΡΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	25
3.4 ΚΕΛΥΦΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ	25
3.5 ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΚΕΡΔΗ.....	26
ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ	26
ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ	27
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ	27
3.6 ΣΥΣΤΗΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	29

Θέρμανση – Ψύξη.....	29
Παροχή νωπού αέρα με μηχανικά μέσα	30
3.7 ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	31
4 ΜΕΙΩΣΗ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ.....	35
4.1 ΣΕΝΑΡΙΟ 1: ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΟ ΚΕΛΥΦΟΣ	35
Προσθήκη επιπλέον θερμομόνωσης και ψυχρού υλικού στην εξωτερική τοιχοποιία	35
Αλλαγή υαλοπινάκων	37
Προσθήκη μόνωσης στην οροφή.....	39
Αθροιστικές αλλαγές στο κέλυφος του κτιρίου.....	40
4.2 ΣΕΝΑΡΙΟ 2: ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΚΕΡΔΗ	41
Αντικατάσταση λαμπτήρων.....	41
Αντικατάσταση υπολογιστών	43
Αθροιστικές αλλαγές στα εσωτερικά κέρδη του κτιρίου.....	44
4.3 ΣΕΝΑΡΙΟ 3: ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	46
Αλλαγή ρύθμισης του θερμοστάτη σε κοινόχρηστους χώρους.....	46
Αλλαγή της ποσότητας παροχής νωπού αέρα	47
Αθροιστικές αλλαγές στο σύστημα λειτουργίας του κτιρίου	50
4.4 ΣΕΝΑΡΙΟ 4: ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΣΕΝΑΡΙΩΝ 1,2 ΚΑΙ 3	51
5 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	53
5.1 ΣΕΝΑΡΙΟ 5: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	53
5.2 ΣΕΝΑΡΙΟ 6: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	55
5.3 ΣΕΝΑΡΙΟ 7: ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΣΕΝΑΡΙΩΝ 5 ΚΑΙ 6.....	57
6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ.....	60
7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	62

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1: Κτίριο μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης «Oberlin».....	5
Εικόνα 1-2: Κτίριο χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας «Zion».....	6
Εικόνα 1-3: Κτίριο χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης «Cambria».....	7
Εικόνα 1-4: Κτίριο υψηλής ενεργειακής απόδοσης «CBF».....	8
Εικόνα 1-5: Κτίριο χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης «TTF»	9
Εικόνα 1-6: Κτίριο μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης «Science House»	10
Εικόνα 2-1: Βήματα προς τη μετατροπή του παρόντος κτιρίου σε κτίριο μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης.....	18
Εικόνα 3-1: Φωτογραφία από τη βόρεια πλευρά του κτιρίου	20
Εικόνα 3-2: Βορειοανατολική όψη κτιρίου.....	20
Εικόνα 3-3: Νότια άποψη κτιρίου K2	24
Εικόνα 3-4: Βόρεια άποψη κτιρίου K2	24
Εικόνα 5-1: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο	53
Εικόνα 5-2: Διαστάσεις Φ/Β πλαισίου	54
Εικόνα 5-3: Ανεμογεννήτρια οροφής.....	56

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2-1: Περιγραφή σεναρίων	19
Πίνακας 3-1: Περιγραφή θερμικών ζωνών κτιρίου K2.....	22
Πίνακας 3-2: Ονομασία θερμικών ζωνών και χώροι που περιλαμβάνονται σε αυτές	23
Πίνακας 3-3: Κέλυφος κτιρίου.....	25
Πίνακας 3-4: Εργαζόμενοι / χώρο.....	26
Πίνακας 3-5: Υπολογιστές / χώρο.....	28
Πίνακας 3-6: Τιμές παροχής αέρα αρχικής κατάστασης.....	30
Πίνακας 3-7: Κατανάλωση ενέργειας στην αρχική κατάσταση.....	31
Πίνακας 4-1: Εξοικονόμηση ενέργειας μετά από μόνωση στην τοιχοποιία και εφαρμογή ψυχρού υλικού.....	36
Πίνακας 4-2: Εξοικονόμηση ενέργειας μετά από αντικατάσταση υαλοπινάκων.....	38
Πίνακας 4-3: Εξοικονόμηση ενέργειας μετά από μόνωση στην οροφή.....	39
Πίνακας 4-4: Αλλαγές στο κέλυφος (Σενάριο 1)	40
Πίνακας 4-5: Εξοικονόμηση ενέργειας – Σενάριο 1	40
Πίνακας 4-6: Εξοικονόμηση ενέργειας μετά από αντικατάσταση λαμπτήρων.....	42
Πίνακας 4-7: Εξοικονόμηση ενέργειας μετά από αντικατάσταση υπολογιστών	43
Πίνακας 4-8: Αλλαγές στα εσωτερικά κέρδη (Σενάριο 2)	44
Πίνακας 4-9: Εξοικονόμηση ενέργειας Σεναρίου 2	44
Πίνακας 4-10: Εξοικονόμηση με ρύθμιση θερμοστάτη σε κοινόχρηστους χώρους	46
Πίνακας 4-11: Απαιτούμενη παροχή νωπού αέρα	48
Πίνακας 4-12: Εξοικονόμηση ενέργειας μετά από αλλαγή στον αερισμό	49
Πίνακας 4-13: Εξοικονόμηση ενέργειας Σεναρίου 3	50
Πίνακας 4-14: Αλλαγές σεναρίου 4	51
Πίνακας 4-15: Κατανάλωση και εξοικονόμηση ενέργειας Σεναρίου 4.....	51

Πίνακας 5-1: Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών.....	54
Πίνακας 5-2: Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας.....	56
Πίνακας 6-1: Κατανάλωση κ εξοικονόμηση ενέργειας όλων των σεναρίων	60

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1-1: Ημερήσια πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας και δείκτης καθαρότητας	16
Διάγραμμα 1-2: Θερμοκρασία περιβάλλοντος.....	16
Διάγραμμα 1-3: Μέσες μηνιαίες ταχύτητες ανέμου.....	17
Διάγραμμα 1-4: Κύρια κατεύθυνση του ανέμου στην περιοχή μελέτης[24].....	17
Διάγραμμα 3-1: Κατανάλωση ενέργειας κτιρίου στην αρχική κατάσταση.....	31
Διάγραμμα 3-2: Αρχική κατανάλωση ενέργειας για ψύξη και θέρμανση.....	32
Διάγραμμα 3-3: Αρχική κατανάλωση ενέργειας από λαμπτήρες και H/Y	33
Διάγραμμα 3-4: Κατανάλωση ενέργειας ζωνών στην Αρχική κατάσταση	34
Διάγραμμα 4-1: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας για ψύξη και θέρμανση μετά από προσθήκη μόνωσης στην εξωτερική τοιχοποιία.....	37
Διάγραμμα 4-2: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας και ψύξη και θέρμανση μετά από αντικατάσταση υαλοπινάκων.....	38
Διάγραμμα 4-3: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας για ψύξη και θέρμανση μετά από προσθήκη μόνωσης στην οροφή.....	39
Διάγραμμα 4-4: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας – Σενάριο 1	41
Διάγραμμα 4-5: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας από λαμπτήρες και H/Y μετά από αντικατάσταση λαμπτήρων.....	42
Διάγραμμα 4-6: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας από λαμπτήρες και H/Y μετά από αντικατάσταση H/Y	44
Διάγραμμα 4-7: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας - Σενάριο 2	45
Διάγραμμα 4-8: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας για ψύξη και θέρμανση μετά από αλλαγή θερμοκρασίας στους κοινόχρηστους χώρους	47
Διάγραμμα 4-9: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας για ψύξη και θέρμανση μετά από αλλαγή στον αερισμό.....	49
Διάγραμμα 4-10: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας – Σενάριο 3	50
Διάγραμμα 4-11: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας – Σενάριο 4	52
Διάγραμμα 5-1: Παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκού συστήματος	55
Διάγραμμα 5-2: Παραγόμενη ισχύς ανεμογεννήτριας συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου.....	56
Διάγραμμα 5-3: Ωριαία παραγόμενη ισχύς ανεμογεννητριών	57
Διάγραμμα 5-4: Μηνιαία κάλυψη ενεργειακών αναγκών του κτιρίου από τις διάφορες πηγές....	58
Διάγραμμα 5-5: Ισοζύγιο ενέργειας – αλληλεπίδραση με δίκτυο	59
Διάγραμμα 6-1: Φθίνουσα ταξινόμηση των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας ως προς την ενεργειακή τους απόδοση.....	61

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

Ένα από τα κυριότερα προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει η σημερινή κοινωνία είναι η κλιματική αλλαγή που χρόνο με το χρόνο γίνεται όλο και πιο έντονη. Η υπερθέρμανση του πλανήτη αποτελεί ένα από τα πιο επίκαιρα θέματα και αφορά όχι μόνο τις επιστήμες των μηχανικών και των φυσικών αλλά έχει φανερές επιπτώσεις και σε διάφορες επιστήμες όπως η οικονομία και η κοινωνιολογία. Τα τελευταία 20 χρόνια έχει παρατηρηθεί σημαντική αύξηση τόσο των απαιτήσεων πρωτογενούς ενέργειας όσο και των ηλεκτρικών αναγκών. Αυτή η αύξηση σε συνδυασμό με την επίδραση της υπερθέρμανσης του πλανήτη καθιστά επιτακτική την ανάγκη λήψης κατάλληλων μέτρων [2].

Επιπλέον, υπάρχει άμεση συσχέτιση μεταξύ της κλιματικής αλλαγής και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, των οποίων οι κύριες πηγές είναι η χρήση και η παραγωγή ενέργειας. Παγκοσμίως, έχουν ξεκινήσει να λαμβάνονται ισχυρά μέτρα αντιμετώπισης του προβλήματος αυτού μέσω της ενημέρωσης των πολιτών, της θέσπισης νέων νόμων και κανόνων και άλλων μέτρων. Τα κτίρια καταναλώνουν ένα μεγάλο ποσοστό ενέργειας για τη λειτουργία τους, εκτός όμως από την ενέργεια που καταναλώνεται για τη λειτουργία ενός κτιρίου, υψηλές απαιτήσεις ενέργειας υπάρχουν και κατά την εξόρυξη, την επεξεργασία, τη μεταφορά των οικοδομικών υλικών, την κατασκευή του κτιρίου και τον παροπλισμό του. Η απαιτούμενη αυτή ενέργεια μαζί με την ενέργεια που καταναλώνεται κατά τη διάρκεια ζωής του κτιρίου αποτελούν τον κύκλο ζωής της ενέργειας και του αποτυπώματος των εκπομπών. Αναλογίζοντας τον κύκλο ζωής της ενέργειας και του αποτυπώματος των εκπομπών, τα κτίρια ευθύνονται κατά ένα πολύ σημαντικό ποσοστό για το σύνολο των εκπομπών που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, εκτιμάται ότι τα κτίρια παγκοσμίως ευθύνονται για το 1/3 της συνολικής παραγωγής αερίων του θερμοκηπίου [3].

1.2 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Σύμφωνα με την Οδηγία 2010/31/ΕΕ [4] του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 19^{ης} Μαΐου 2010 για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, τα κτίρια ευθύνονται για το 40 % της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας στην Ένωση. Συνεπώς, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και η χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στον κτιριακό τομέα αποτελούν σημαντικά μέτρα που απαιτούνται για τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Από κοινού με την αυξημένη χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, τα μέτρα για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στην Ένωση θα

της επέτρεπαν τη συμμόρφωση προς το **πρωτόκολλο του Κιότο** της σύμβασης πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή UNFCCC, καθώς και την εκπλήρωση τόσο της μακροπρόθεσμης δέσμευσής της για τη διατήρηση της ανόδου της θερμοκρασίας της γης κάτω από τους 2 °C όσο και της δέσμευσής της να μειώσει έως το 2020 τις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 20 % τουλάχιστον κάτω από τα επίπεδα του 1990 και κατά 30 % σε περίπτωση που θα επιτευχθεί διεθνής συμφωνία.

Το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο του Μαρτίου 2007 τόνισε την ανάγκη αύξησης του βαθμού ενεργειακής απόδοσης στην Ένωση ώστε να επιτευχθεί ο στόχος μείωσης κατά 20 % της ενεργειακής κατανάλωσης της Ένωσης μέχρι το 2020 και ζήτησε πλήρη και ταχεία υλοποίηση των προτεραιοτήτων που καθορίστηκαν με την ανακοίνωση της Επιτροπής με τίτλο: «Σχέδιο δράσης για την ενεργειακή απόδοση: Αξιοποίηση του δυναμικού». Στο εν λόγω σχέδιο δράσης αναγνωρίστηκε το σημαντικό δυναμικό για οικονομικώς συμφέρουσα εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα. Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, με το ψήφισμά του της 31ης Ιανουαρίου 2008 ζήτησε την ενίσχυση των διατάξεων της οδηγίας 2002/91/EK και ζήτησε επανειλημμένα, την τελευταία φορά με το ψήφισμά του της 3ης Φεβρουαρίου 2009 σχετικά με τη δεύτερη επισκόπηση της ενεργειακής στρατηγικής, να καταστεί δεσμευτικός ο στόχος βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης ύψους 20 % έως το 2020. Επιπλέον η απόφαση 406/2009/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 23ης Απριλίου 2009, περί των προσπαθειών των κρατών μελών να μειώσουν τις οικείες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, ώστε να τηρηθούν οι δεσμεύσεις της Κοινότητας για μείωση των εκπομπών αυτών έως το 2020, θέτει εθνικούς δεσμευτικούς στόχους για τη μείωση του CO₂, για την οποία θα είναι ζωτική η ενεργειακή απόδοση στον κτιριακό τομέα. Ενώ η οδηγία 2009/28/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Απριλίου 2009, σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, προβλέπει την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης στο πλαίσιο δεσμευτικού στόχου για την ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, η οποία θα πρέπει να αντιστοιχεί στο 20 % της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας της Ένωσης έως το 2020.

Τα κτίρια που χρησιμοποιούνται από δημόσιες αρχές και τα κτίρια που επισκέπτεται συχνά το κοινό θα πρέπει να χρησιμεύσουν ως εμφανές παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο λαμβάνονται υπόψη τα περιβαλλοντικά και ενεργειακά ζητήματα, και, κατά συνέπεια, τα εν λόγω κτίρια θα πρέπει να υπόκεινται σε τακτική ενεργειακή πιστοποίηση.

1.3 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΠΟΥ ΣΤΕΓΑΖΟΥΝ ΓΡΑΦΕΙΑ

Το 40% της παγκόσμιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας όπως και το 24% των αερίων του θερμοκηπίου οφείλεται στα κτίρια [5]. Εκτιμάται ότι στην Ευρώπη το 26% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας προέρχεται από κτίρια κατοικιών και το 13% από μη οικιστικά κτίρια [6]. Ο τριτογενής τομέας είναι ένας από τους πιο γρήγορα αναπτυσσόμενους τομείς σε ενεργειακή κατανάλωση και αναμένεται να είναι 26% περισσότερο μέχρι το 2030 από ότι ήταν το 2005, ενώ τα οικιακά κτίρια αναμένεται να απαιτούν μόνο 12% περισσότερη ενέργεια [7]. Αυτή η εκτίμηση καθιστά αναγκαία την εκτεταμένη έρευνα πάνω στην χρήση ενέργειας από μη οικιακά κτίρια. Η δυσκολία έγκυται στην εύρεση τρόπων για την επίτευξη έξυπνων στρατηγικών εξοικονόμησης ενέργειας χωρίς να προκαλείται αρνητική επίπτωση στην ποιότητα ζωής και στην παραγωγικότητα των εργαζόμενων.

Σύμφωνα με τον Σπυρόπουλο [7], η τελική ενέργεια που καταναλώνεται στα ευρωπαϊκά μη οικιστικά κτίρια οφείλεται κυρίως στη θέρμανση χώρων και άλλων θερμικών χρήσεων, στις ηλεκτρικές συσκευές, στην ψύξη και στον φωτισμό. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στη μη οικιστικά κτίρια έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια εξαιτίας της εκτεταμένης χρήσης συστημάτων θέρμανσης, αερισμού, κλιματισμού και του εξοπλισμού των γραφείων (ηλεκτρονικές συσκευές και υπολογιστές) και αναμένεται, ιδιαίτερα σε αυτόν τον τομέα, να αυξηθεί από 42% της συνολικής ενέργειας που ήταν το 2005 σε περίπου 50% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης το 2030.

1.4 ΚΤΙΡΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

Τα Κτίρια Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης έχουν μεγάλες δυνατότητα να προσφέρουν πολύ σημαντική βοήθεια στην εξάλειψη των προβλημάτων που σχετίζονται με την υποβάθμιση του περιβάλλοντος και την εξάντληση των διαθέσιμων πηγών ενέργειας.

Έχουν δοθεί κατά καιρούς πολλοί ορισμοί σχετικά με το ποια κτίρια μπορούν να θεωρηθούν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης. Ένας από τους επικρατέστερους ορισμούς είναι ο εξής: Κτίριο Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης είναι ένα κτίριο με σημαντικά μειωμένες ενεργειακές ανάγκες οι οποίες καλύπτονται από τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Παρά την χρήση της φράσης «μηδενικής ενέργειας», λείπει ένας κοινός ορισμός ή μια κοινή κατανόηση, του τι σημαίνει. Στην καρδιά της έννοιας ZEB είναι η ιδέα ότι τα κτίρια μπορούν να καλύψουν όλες τις απαιτήσεις τους σε ενέργεια από χαμηλού κόστους, σε τοπικό επίπεδο, μη ρυπογόνες, ανανεώσιμες πηγές. Σε αυστηρότερο επίπεδο, ένα Κτίριο Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης παράγει

αρκετή ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές στην περιοχή και ισοσκελίζει ή ακόμα και υπερβαίνει την ετήσια χρήση ενέργειας [8].

Ωστόσο, ο κοινός παρονομαστής σε όλους τους προτεινόμενους ορισμούς είναι η ισορροπία μεταξύ ζήτησης και προσφοράς. Η ισορροπία μπορεί να υπολογιστεί με διάφορους τρόπους ανάλογα με τις ποσότητες που είναι ενδιαφέρουσες και διαθέσιμες [9]:

- Η ισορροπία μεταξύ εισαγωγής/εξαγωγής εστιάζεται στη ροή ενέργειας που ανταλλάσσεται μεταξύ του κτιρίου και του δικτύου. Αυτού του είδους η ισορροπία ισχύει όταν υπάρχει παρακολούθηση ή σχεδιασμός με διαθέσιμες κάποιες εκτιμήσεις αυτοκατανάλωσης.
- Μία πιο απλή ισορροπία, είναι η ισορροπία φορτίου/παραγωγής, η οποία εστιάζεται στο απαιτούμενο μικτό φορτίο και στην ποσότητα παραγωγής αγνοώντας την αλληλεπίδρασή τους. Αυτού του είδους η ισορροπία ισχύει όταν κατά τον σχεδιασμό δεν είναι διαθέσιμες οι εκτιμήσεις αυτοκατανάλωσης.
- Μία τρίτου τύπου ισορροπία είναι η μηνιαία ισορροπία η οποία μπορεί να αντιμετωπιστεί ως συνδυασμός των άλλων δύο: μηνιαία παραγωγή και φορτίο (για κάθε πηγή ενέργειας) που θεωρείται ότι δεν ισορροπούν μεταξύ τους και μόνο τα μηνιαία υπολείμματα αθροίζονται για να σχηματίσουν το ετήσιο σύνολο.

Η στρατηγική για να επιτευχθεί η δημιουργία ενός κτιρίου μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης, περιλαμβάνει δύο στάδια:

1. Αρχικά την εφαρμογή ενεργειακά αποδοτικών μέτρων με σκοπό τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και
2. Μεταγενέστερα την παραγωγή ενέργειας μέσω Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας έτσι ώστε να επιτευχθεί ισορροπία στην ενέργεια που καταναλώνεται με την ενέργεια που παράγεται.

Τα κτίρια μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες [9]:

1. Κτίρια μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο (NZEB – Net Zero Energy Buildings)
2. Κτίρια μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης που δεν είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο αλλά είναι αυτόνομα (ZEB – Zero Energy Buildings)

1.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΤΙΡΙΩΝ ΧΑΜΗΛΗΣ ΚΑΙ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

Παρακάτω αναφέρονται έξι παραδείγματα εμπορικών κτιρίων χαμηλής και μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης τα οποία βρίσκονται σε διαφορετικά κλίματα και έχουν διάφορες χρήσεις. Όλα τους είναι κτίρια στα οποία η εξοικονόμηση ενέργειας κυμαίνεται από 25% έως 68% συγκριτικά με τα συμβατικά κτίρια.

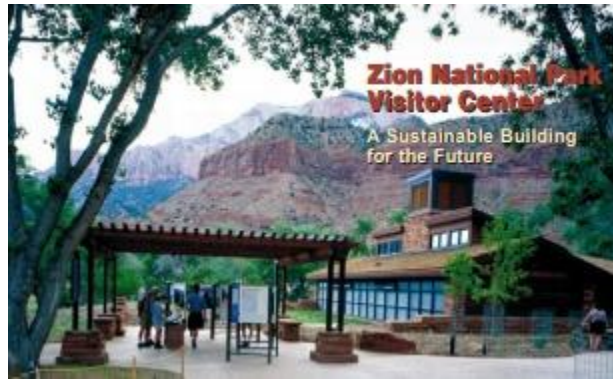
- “Oberlin”—The Adam Joseph Lewis Center for Environmental Studies, Oberlin College. [10]



Εικόνα 1-1: Κτίριο μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης «Oberlin»

Το παραπάνω κέντρο για περιβαλλοντικές σπουδές (Εικόνα 1-1) περιγράφηκε από τους New York Times ως «το πιο αξιοσημείωτο κτίριο-κολέγιο της νέας γενιάς» και από το Τμήμα Ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών ως ένα από τα 30 ορόσημα του 20^{ου} αιώνα. Το κτίριο λειτουργεί με βάση τις τρεις θεμελιώδεις αρχές της φύσης, την εξάλειψη της έννοιας των αποβλήτων, την εκμετάλλευση φυσικών ροών ενέργειας, και την ποικιλομορφία. Η διάταξη των χώρων του κέντρου προέρχεται από την ενσωμάτωση των φυσικών ροών ενέργειας και τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου, της χρήσης του ως εκπαιδευτικού και δημόσιου χώρου, και την επιθυμία να θολώνει τη διάκριση μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών χώρων. Το ευήλιο διώροφο αίθριο λειτουργεί ως τον κύριο χώρο οργάνωσης ενώ παράλληλα λειτουργεί ως δημαρχείο της νότιας πανεπιστημιούπολης, ή δημόσια πλατεία. Ο φυσικός φωτισμός και ο φυσικός εξαερισμός ενισχύουν την αίσθηση ύπαρξης σε υπαίθριο χώρο. Το 2006, η περιοχή έγινε καθαρός εξαγωγέας ενέργειας, ο οποίος παρήγαγε 30 % περισσότερη ενέργεια από ό, τι χρειάζεται για να λειτουργήσει και μοιραζόταν αυτή την πλεονάζουσα ενέργεια με την κοινότητα.

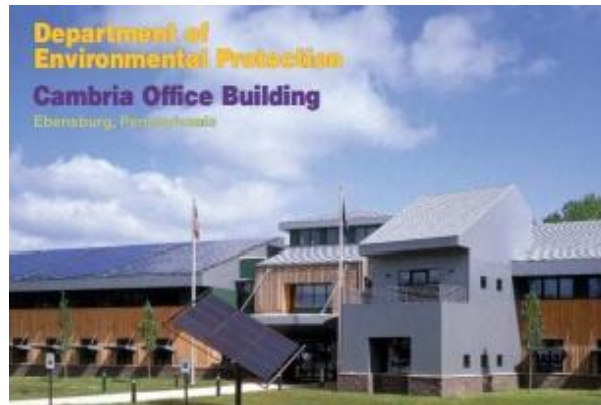
- “Zion”- The Visitor Center at Zion National Park, Springdale, Utah. [11]



Εικόνα 1-2: Κτίριο χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας «Zion»

Στην Εικόνα 1-2 φαίνεται το Εθνικό Πάρκο στην Utah, του οποίου το κτίριο είναι χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης. Από πολύ παλιά οι επισκέπτες στο Εθνικό Πάρκο Zion έμεναν εντυπωσιασμένοι από τη φυσική ομορφιά. Το 1919, το πάρκο ιδρύθηκε για τη διατήρηση της φυσικής ομορφιάς της περιοχής για τις επόμενες γενιές. Κατά τη δημιουργία του Zion National Park Visitor Center, το Εθνικό Πάρκο, σε συνεργασία με το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας των ΗΠΑ, έχει μείνει πιστό στις αρχές της προστασίας της φυσικής ομορφιάς του Zion, δημιουργώντας μια βιώσιμη ανάπτυξη που ενσωματώνει τα φυσικά χαρακτηριστικά και την έννοια του ενεργειακά αποδοτικού κτιρίου με ένα ελκυστικό σχεδιασμό, εξοικονομώντας ενέργεια και λειτουργικά έξοδα καθώς προστατεύει παράλληλα το περιβάλλον. Κέντρα επισκεπτών, όπως το Zion National Park, χρησιμεύουν ως παράδειγμα για το πώς το έθνος μπορεί να προστατεύσει την πιο πολύτιμη πηγή της – τη γη.

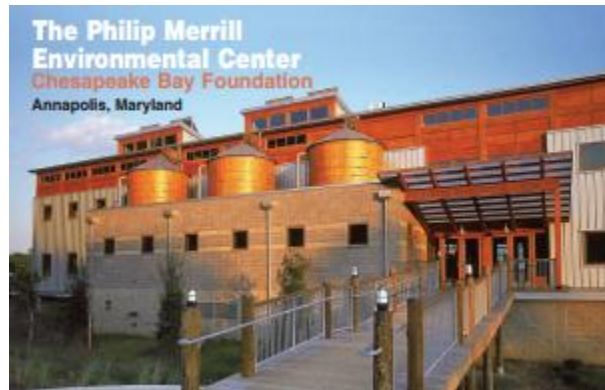
- “Cambria”- The Cambria Department of Environmental Protection Office Building, Ebensburg, Pennsylvania. [12]



Εικόνα 1-3: Κτίριο χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης «Cambria»

Το 36,000 τετραγωνικών-ποδιών κτίριο Cambria στο Ebensburg της Πενσυλβάνια είναι κατασκευασμένο από σκληρούς κορμούς δέντρων κάποιων μικρών υγροβιότοπων. Οι σχεδιαστές αυτού του ενεργειακά αποδοτικού εργασιακού κτιρίου εργάστηκαν ώστε να προσαρμόσουν το κτίριο σε αυτό το περιβάλλον με το ελάχιστο δυνατό αντίκτυπο στον περιβάλλοντα χώρο και έλαβαν υπόψη το γενικότερο περιβάλλον σε επιλογές όσον αφορά τα δομικά υλικά και τα δομικά συστήματα. Με την εφαρμογή ενός σχεδίου που ονομάζεται ολοκληρωμένος σχεδιασμός, ήταν σε θέση να αξιολογήσουν και να ελαχιστοποιήσουν τη χρήση ενέργειας και τη ρύπανση που προκαλείται κατά την κατασκευή των δομικών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και κατά τη λειτουργία του κτιρίου Cambria καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του. Ο σχεδιασμός του εσωτερικού του κτιρίου εξετάστηκε εξίσου. Οι αρχιτέκτονες επέλεξαν χρώματα με χαμηλά επίπεδα πτητικών οργανικών ενώσεων και εγκατέστησαν σύστημα παρακολούθησης ποιότητας του αέρα, με σκοπό την παρακολούθηση της θερμοκρασίας, της υγρασίας, καθώς και του διοξειδίου του άνθρακα. Όλοι οι εργαζόμενοι είχαν πρόσβαση σε φυσικό φωτισμό στο εργασιακό τους περιβάλλον, γεγονός το οποίο συμβάλει στην περαιτέρω εξοικονόμηση ενέργειας. Υπάρχει ακόμη η δυνατότητα μεμονωμένου ελέγχου του φωτισμού και της θερμοκρασίας σε κάθε εργασιακό χώρο. Σύμφωνα με τον κύριο αρχιτέκτονα του κτιρίου, John Boecker, "το κτίριο Cambria είναι ένα ενεργειακό κτίριο το οποίο παρέχει επίσης μεγάλη ευελιξία, υγιές περιβάλλον και χώρους με φυσικό φωτισμό".

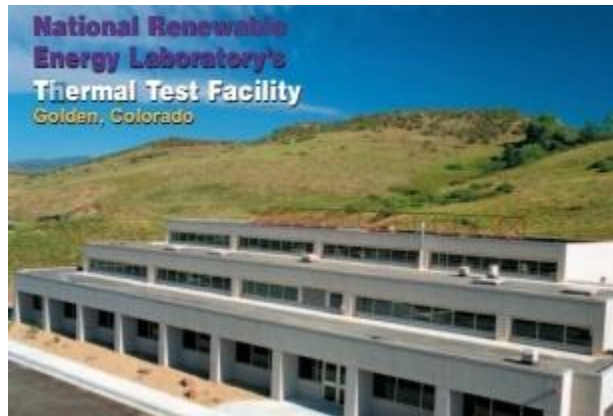
- “CBF”- The Philip Merrill Environmental Center, Chesapeake Bay Foundation, Annapolis, Maryland. [13]



Εικόνα 1-4: Κτίριο υψηλής ενεργειακής απόδοσης «CBF»

Το Περιβαλλοντικό Κέντρο Philip Merrill δημιουργήθηκε για να στεγάσει την Chesapeake Bay Foundation (CBF) μία 35 χρόνων οργάνωση αφιερωμένη στην αποκατάσταση των φυσικών πόρων, της περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης και εκπαίδευσης. Καθώς οι επισκέπτες εισέρχονται στο Περιβαλλοντικό Κέντρο Philip Merrill από το βόρειο τμήμα αντικρίζουν χαρακτηριστικά υψηλής ενεργειακής απόδοσης, όπως ηλιακούς θερμοσίφωνες, λειτουργικά παράθυρα και φεγγίτες, καθώς και δεξαμενές όμβριων υδάτων. Ο νότιος τοίχος του κτιρίου είναι κατασκευασμένος κυρίως από γυαλί. Το κτίριο έχει χαρακτηριστεί υψηλής ενεργειακής απόδοσης.

- “TTF”- The Thermal Test Facility, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado. [14]



Εικόνα 1-5: Κτίριο χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης «TTF»

Τα ζεστά καλοκαίρια και οι κρύοι χειμώνες στο Golden, στο Colorado, καθιστούν τη δημιουργία ενός ενεργειακά αποδοτικού κτιρίου μία πρόκληση. Αλλά όταν τα σχέδια για το Thermal Test Facility υλοποιήθηκαν το 1996, το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Πηγών στις ΗΠΑ χρησιμοποίησε ένα απλό παράδειγμα για να δημιουργήσει ένα κτίριο υψηλής ενεργειακής απόδοσης. Τα ενεργειακά και οικονομικά αποδοτικά χαρακτηριστικά που ενσωματώνει το κτίριο, όπως τον φυσικό φωτισμό, εκμεταλλεύονται την άφθονη ηλιοφάνεια και το ξηρό κλίμα της περιοχής. Οι ερευνητές παρακολουθούν την απόδοση των 11000 m² του κτιρίου το οποίο πετυχαίνει ενεργειακή και οικονομική εξοικονόμηση 63% για τη θέρμανση, την ψύξη και το φωτισμό.

- “Science House” Science Museum of Minnesota, St. Paul, Minnesota [15]



Εικόνα 1-6: Κτίριο μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης «Science House»

Το Science House λειτουργεί ως δημόσια πειραματική περιβαλλοντική εγκατάσταση, ως αίθουσα διδασκαλίας κι ως χώρος εκδηλώσεων για το μουσείο επιστήμης, Big Back Yard. Το κτίριο αυτό έχει σχεδιαστεί με σκοπό να είναι ένα κτίριο μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης, δηλαδή το κτίριο παράγει μέσω ενός φωτοβολταϊκού συστήματος 8.8 kW περισσότερη ενέργεια από αυτή που καταναλώνει σε ετήσια βάση.

1.6 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΠΟΔΟΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ

Εξετάζοντας το πρώτο στάδιο της στρατηγικής για την επίτευξη ενός Κτιρίου Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης, πρέπει να βρεθούν τρόποι για τη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων ενός κτιρίου. Τα ενεργειακά αποδοτικά μέτρα τα οποία έχουν σημαντική επίδραση στην κατανάλωση ενέργειας από κτίρια μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις κατηγορίες (αυτά τα μέτρα μπορούν επίσης να εφαρμοστούν σε ήδη υπάρχοντα κτίρια που υποβάλλονται σε βελτίωση) [3]:

- Μέτρα που αφορούν το κέλυφος του κτιρίου – θερμομόνωση, θερμική μάζα, υαλοπίνακες και πράσινες στέγες.
- Μέτρα που αφορούν τις εσωτερικές συνθήκες – σχεδιασμός εσωτερικών συνθηκών και εσωτερικών θερμικών φορτίων εξαιτίας του φωτισμού και του εξοπλισμού.
- Μέτρα που αφορούν το σύστημα λειτουργίας του κτιρίου – θέρμανση, αερισμός και κλιματισμός του χώρου (HVAC), ηλεκτρικές συσκευές (συμπεριλαμβανομένου του φωτισμού) και κατακόρυφη μεταφορά (σκάλες και ανελκυστήρες).

Για να αξιολογηθεί πλήρως η αποτελεσματικότητα τόσο των μεμονωμένων όσο και των πολλαπλών ενεργειακά αποδοτικών μέτρων, είναι απαραίτητο να συνυπολογιστεί η δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφορετικών σχεδιαστικών μεταβλητών του κτηριακού κελύφους, του συστήματος λειτουργίας του κτιρίου καθώς και των εσωτερικών συνθηκών και του κλίματος του εξωτερικού περιβάλλοντος

Γύρω από κάποια ενεργειακά αποδοτικά μέτρα έχουν παρατηρηθεί κάποια βασικά χαρακτηριστικά. Αρχικά, η θερμομόνωση δεν είναι τόσο αποδοτική σε κτίρια που απαιτούνε μεγάλα ψυκτικά φορτία, έχουν υψηλά εσωτερικά θερμικά κέρδη και βρίσκονται σε θερμά κλίματα [3]. Γενικότερα η υπερβολική θερμομόνωση θα πρέπει να αποφεύγεται καθώς προκαλεί αύξηση στην χρήση ενέργειας για τον κλιματισμό του χώρου. Επιπλέον, οι πράσινες στέγες δεν αποδεικνύονται ιδιαίτερα αποδοτικές στην περίπτωση που στοχεύεται η δημιουργία Κτιρίου Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης εξαιτίας των συγκρουόμενων απαιτήσεων της οροφής του κτιρίου και των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας όπως φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες [3]. Επίσης, ο φυσικός φωτισμός και οι πρόσφατες βελτιώσεις τις τεχνολογίες φωτισμού (π.χ. λαμπτήρες LED) έχουν μεγάλες δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας [3].

1.7 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ

Ακόμα και αν εφαρμοστούν τα πιο δραστικά ενεργειακά αποδοτικά μέτρα που είναι διαθέσιμα, θα απαιτείται επιπλέον ενέργεια για να καλύψει τις καθημερινές απαιτήσεις του κτιρίου. Τα Κτίρια Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης καλύπτουν αυτήν την εναπομείνουσα ενέργεια εκμεταλλευόμενα τις αστείρευτες πηγές ενέργειας του περιβάλλοντος. Ως τέτοιες πηγές μπορούν να θεωρηθούν ο ήλιος, ο άνεμος, το νερό και το έδαφος. Η ανανεώσιμη ενέργεια είναι «ενέργεια που την αντλούμε από τις επαναλαμβανόμενες ροές ενέργειας που εμφανίζονται διαρκώς στο φυσικό περιβάλλον» (Twidell and Weir, 1986) [Boyle 2004] ή είναι «ενέργεια που αναπληρώνεται με τον ίδιο ρυθμό με τον οποίο καταναλώνεται» (Sorensen,2000) [Boyle 2004]. Οι τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας είναι:

- Φωτοβολταϊκά συστήματα και ηλιακά θερμικά συστήματα (ενεργητικά και παθητικά)
- Ανεμογεννήτριες
- Υδροηλεκτρικά και ενέργεια από τα κύματα και την παλίρροια
- Γεωθερμία
- Βιομάζα και τα παράγωγά της (βιοντίζελ – αιθανόλη κλπ)

Στην παρούσα εργασία οι τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας που χρησιμοποιήθηκαν είναι φωτοβολταϊκά και μικρές ανεμογεννήτριες, τα οποία τοποθετήθηκαν στην οροφή του κτιρίου.

Φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι διατάξεις που μετατρέπουν το φως του ηλίου σε ηλεκτρισμό με τη χρήση φωτοβολταϊκών κυψελών ή συστοιχιών. Η ποσότητα της ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος σε κάθε περιοχή εξαρτάται κυρίως από τη γεωγραφική θέση, την ημέρα, την εποχή και τη νεφοκάλυψη. Στο μεγαλύτερο τμήμα της Ελλάδας η ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερες από 2700 ώρες το χρόνο, ενώ στη νότια Κρήτη ξεπερνά τις 3100 ώρες ημερησίως [16].

Μερικά από τα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι [17] :

- Αθόρυβη λειτουργία και μηδενική εκπομπή ρύπων
- Δυνατότητα εγκατάστασης σε οροφές κτιριακών συγκροτημάτων αξιοποιώντας ενεργειακά τη διαθέσιμη επιφάνεια
- Μεγάλη διάρκεια ζωής, αξιοπιστία και δυνατότητα επέκτασης για κάλυψη αυξημένων αναγκών
- Δυνατότητα συνδυασμού τους με άλλες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (όπως τα υβριδικά συστήματα φωτοβολταϊκών συστοιχιών και ανεμογεννητριών).

Ένα από τα μειονεκτήματά τους είναι το υψηλό κόστος επένδυσης. Οι απόψεις επίσης δίστανται για την αισθητική όχληση που πιθανόν προκαλούν.

Τα πιο συνηθισμένα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν ως φωτοαγώγιμο υλικό το πυρίτιο και μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες [18]:

- Φ/Β στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου με απόδοση ~21% έως ~24% (για τα στοιχεία και ~13% έως 16% για τα πλαίσια
- Φ/Β στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου με απόδοση ~17% έως ~20% (για τα στοιχεία και ~10% έως 14% για τα πλαίσια
- Φ/Β στοιχεία άμορφου πυριτίου με απόδοση ~6% έως ~10% (αρχικά) που με την πάροδο του χρόνου πέφτει στο ~4% έως 8% για τα πλαίσια.

Μικρές Ανεμογεννήτριες

Η ηλιακή ακτινοβολία δημιουργεί έμμεσα την αιολική ενέργεια καθώς η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από περιοχή σε περιοχή, δημιουργώντας τους ανέμους [16].

Ο άνεμος περιστρέφει τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας, που είναι συνδεδεμένα με ένα περιστρεφόμενο άξονα. Ο άξονας περνάει μέσα σε ένα κιβώτιο μετάδοσης της κίνησης όπου αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής. Το κιβώτιο συνδέεται με έναν άξονα μεγάλης ταχύτητας περιστροφής ο οποίος κινεί μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Όταν η ένταση του ανέμου είναι πολύ μεγάλη, τότε η τουρμπίνα έχει ένα φρένο που περιορίζει την υπερβολική αύξηση περιστροφής των πτερυγίων για να περιοριστεί η φθορά της και να αποφευχθεί η καταστροφή της [16].

Υπάρχουν αιολικά πάρκα ανά περιοχές που αποτελούνται από συστοιχίες πολλών, μεγάλων ανεμογεννητριών (800 kW – 6MW) και τροφοδοτούν απευθείας το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, μπορούν να εγκατασταθούν και μικρές ανεμογεννήτριες για εφαρμογές μικρής κλίμακας, κυρίως για την ικανοποίηση των αναγκών ενός κτιρίου.

Οι ανεμογεννήτριες διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες: οριζόντιου (πιο διαδεδομένες) και κάθετου άξονα και κάποια από τα πλεονεκτήματά τους είναι τα εξής [19]:

- Αξιόπιστη λειτουργία και μεγάλη διάρκεια ζωής
- Με τη λειτουργία τους αποφεύγεται η χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρισμού
- Φιλικότητα προς το περιβάλλον καθώς δε ρυπαίνουν.

Τα βασικά μειονεκτήματά τους είναι ότι πέρα από την αρκετά μεγάλη αρχική επένδυση που απαιτούν, χρειάζονται και συντήρηση καθώς έχουν κινούμενα μέρη. Επιπλέον δεν είναι απόλυτα αθόρυβες λόγω της λειτουργίας του ηλεκτρικού τους κινητήρα.

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα είναι οι ανεμογεννήτριες οι οποίες περιστρέφονται γύρω από έναν άξονα οριζόντιο ως προς το επίπεδο του εδάφους ενώ κάθετου άξονα είναι αυτές που περιστρέφονται γύρω από έναν άξονα ο οποίος είναι κάθετος ως προς το επίπεδο του εδάφους [20].

Οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα περιστροφής δεν είναι ιδιαίτερα διαδομένες διότι συνήθως, έχουν χαμηλότερη απόδοση σχετικά με τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα. Ωστόσο, παρουσιάζουν μεγαλύτερο αρχιτεκτονικό ενδιαφέρον καθώς είναι πιθανό να είναι πιο αποτελεσματικές στο αστικό περιβάλλον, αφού έχουν τη δυνατότητα να εκμεταλλεύονται τους ανέμους διαφορετικών κατευθύνσεων. Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα περιστροφής είναι πιο αθόρυβες και επηρεάζονται λιγότερο από τις αναταράξεις και τις δονήσεις, συγκριτικά πάντα με τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου

άξονα, επειδή δεν χρειάζονται άνεμο συγκεκριμένης διεύθυνσης για να περιστραφούν [21].

1.8 TRNSYS KAI HOMER SOFTWARE

TRNSYS software[22]

Το TRNSYS είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης που χρησιμοποιείται κυρίως στους τομείς της μηχανικής προσομοίωσης κτιρίων και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Είναι ένα εμπορικό πακέτο λογισμικού που αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο του Wisconsin με αρχική εφαρμογή την εκτέλεση δυναμικών προσομοιώσεων της συμπεριφοράς ενός ηλιακού συστήματος ζεστού νερού για ένα τυπικό μετεωρολογικό έτος, έτσι ώστε να εξακριβωθεί η μακροπρόθεσμη εξοικονόμηση ενέργεια και κόστους ενός τέτοιου συστήματος.

Αναγνωρίζει μια γλώσσα περιγραφής του συστήματος στο οποίο ο χρήστης καθορίζει τις συνιστώσες που αποτελούν το σύστημα και τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται. Το TRNSYS αποτελείται από δύο μέρη. Το πρώτο είναι ένας κινητήρας (που ονομάζεται πυρήνας) που διαβάσει και επεξεργάζεται το αρχείο εισόδου, με την μέθοδο της επανάληψης λύνει το σύστημα, καθορίζει τη σύγκλιση, και σχεδιάζει το σύστημα των μεταβλητών. Το δεύτερο μέρος του TRNSYS είναι μια εκτεταμένη βιβλιοθήκη των στοιχείων, όπου περιλαμβάνει περίπου 150 μοντέλα. Η βιβλιοθήκη του TRNSYS περιέχει πολλές μεταβλητές οι οποίες περιλαμβάνουν τα θερμικά και ηλεκτρικά ενεργειακά συστήματα, καθώς και ρουτίνες για την επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων ή άλλες εξαρτώμενες από την χρονική στιγμή μεταβλητές. Το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα ευελιξίας στην προσθήκη μαθηματικών μοντέλων που δεν περιλαμβάνονται στην πρότυπη βιβλιοθήκη TRNSYS και είναι κατάλληλο για λεπτομερείς αναλύσεις συστημάτων των οποίων η συμπεριφορά εξαρτάται από το χρόνο. Οι κύριες εφαρμογές του περιλαμβάνουν τη μοντελοποίηση κτιρίων και τον υπολογισμό της ενεργειακής του κατανάλωσης με δυνατότητες προσθήκης ηλιακών συστημάτων (ηλιακά και φωτοβολταϊκά συστήματα), συστημάτων HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning), συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συμπαραγωγής και συστημάτων με κυψέλες καυσίμου.

Τα μέρη του TRNSYS είναι γραμμένα σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran και συνδέονται με το λειτουργικό σύστημα των Windows. Οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να γράψουν τα δικά τους στοιχεία σε Fortran, C, C ++, ή και άλλες γλώσσες κάτω από συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Μετά από 35 χρόνια εμπορικής διαθεσιμότητας, το TRNSYS είναι ένα ευέλικτο πακέτο λογισμικού που εξυπηρετεί τις συνεχώς μεταβαλλόμενες ανάγκες τόσο των ερευνητών όσο και των επαγγελματιών σε θέματα ενεργειακών προσομοιώσεων.

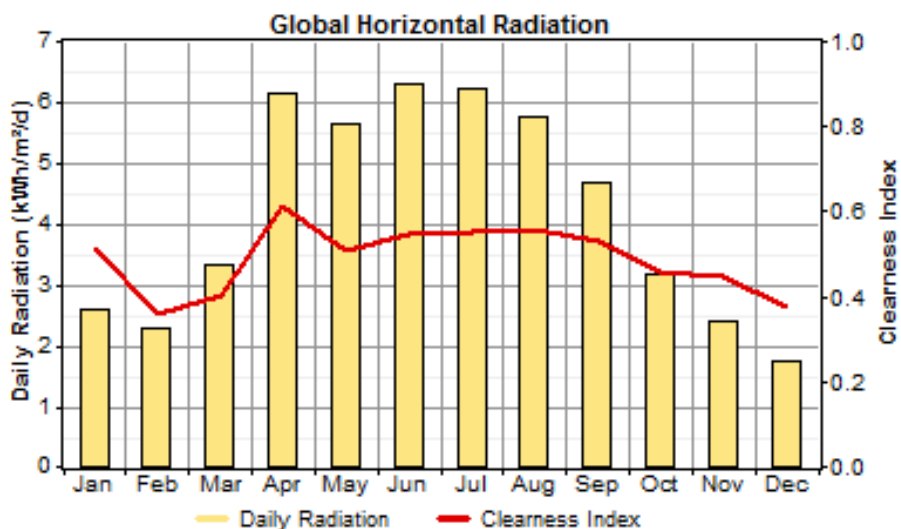
HOMER software[23]

Το HOMER είναι ένα λογισμικό που αναπτύχθηκε από το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμων Ενεργειών των Ηνωμένων Πολιτειών το 1993 για εσωτερική χρήση του Τμήματος Ενέργειας (Department of Energy) ώστε να κατανοήσουν τη διαμόρφωση διαφορετικών μορφών παραγωγής ενέργειας. Λίγα χρόνια μετά δόθηκε μια δωρεάν έκδοση προς διάθεση στο κοινό για να εξυπηρετήσει την αυξανόμενη κοινότητα των σχεδιαστών που ενδιαφέρονται για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Από τότε το HOMER έχει εξελιχθεί σε ένα πολύ ισχυρό εργαλείο για τη μοντελοποίηση τόσο συμβατικών όσο και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό και την αξιολόγηση τεχνικών και οικονομικών στοιχείων τόσο των συστημάτων ενέργειας που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο όσο και αυτών που είναι αυτόνομων. Παρέχει αναλυτική και ακριβή χρονολογική προσομοίωση σε ένα μοντέλο που είναι σχετικά απλό και εύκολο στη χρήση. Είναι προσαρμόσιμο σε μια ευρεία ποικιλία εργασιών. Για ένα χωριό ή μία κοινότητα το HOMER μπορεί να μοντελοποιήσει και τους τεχνικούς και οικονομικούς παράγοντες που συμμετέχουν στο έργο. Για μεγαλύτερα συστήματα, το HOMER μπορεί μόνο να δημιουργήσει μια επισκόπηση που συγκρίνει το κόστος και τη σκοπιμότητα των διαφόρων συνθέσεων και έπειτα οι σχεδιαστές μπορούν να χρησιμοποιήσουν πιο εξειδικευμένο λογισμικό για να μοντελοποιηθεί η τεχνική απόδοση. Το λογισμικό HOMER είναι προσιτό σε μεγάλο σύνολο των χρηστών. Οι χρονολογικές προσομοιώσεις είναι απαραίτητες για τη μοντελοποίηση μεταβλητών πόρων, όπως η ηλιακή και αιολική ενέργεια και για τη συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαδικασία ανάλυσης ευαισθησίας του HOMER βοηθά στον καθορισμό των πιθανών επιπτώσεων των αστάθμητων παραγόντων, όπως οι τιμές των καυσίμων ή η ταχύτητα του ανέμου.

1.9 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

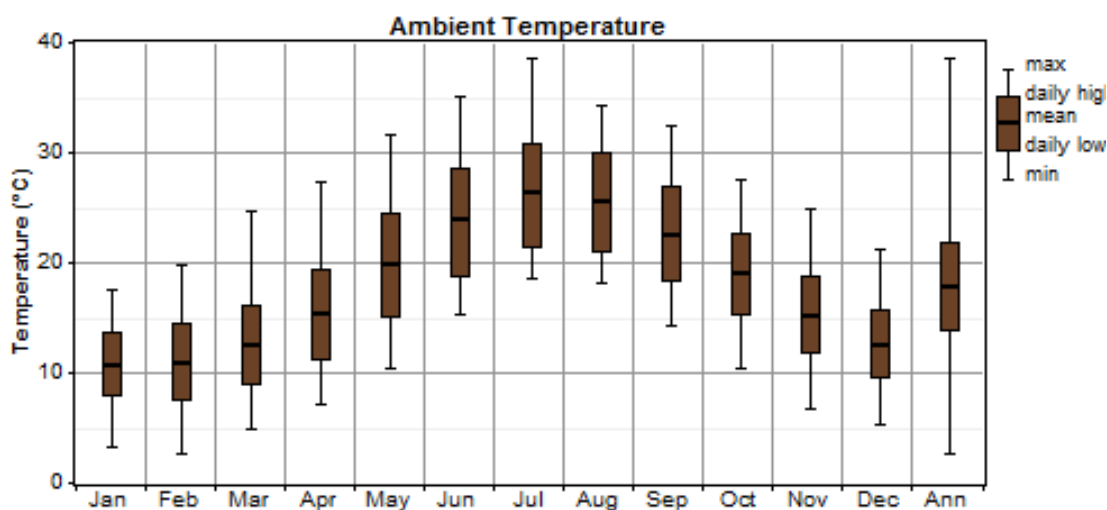
Το κτίριο που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι το κτίριο K2 των Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης που βρίσκεται στα Χανιά.

Η περιοχή που βρίσκεται το υπό μελέτη κτίριο χαρακτηρίζεται γενικά από ήπιο μεσογειακό κλίμα με έντονη ηλιοφάνεια σχεδόν όλη τη διάρκεια του έτους και ειδικότερα τους μήνες Απρίλιο μέχρι Σεπτέμβριο. Η μέση ετήσια ένταση ηλιακής ακτινοβολίας στα Χανιά είναι 1533 kWh/m^2 και η μέση μηνιαία 128 kWh/m^2 (από μετεωρολογικά στοιχεία περιοχής). Επίσης ο δείκτης καθαρότητας παίρνει τιμές από 0.4 μέχρι 0.6 τους περισσότερους μήνες του έτους, γεγονός που υποδηλώνει ότι δεν υπάρχει έντονη συννεφοκάλυψη στην περιοχή. Γραφικά η ηλιοφάνεια και ο δείκτης καθαρότητας απεικονίζονται στο Διάγραμμα 1-1.



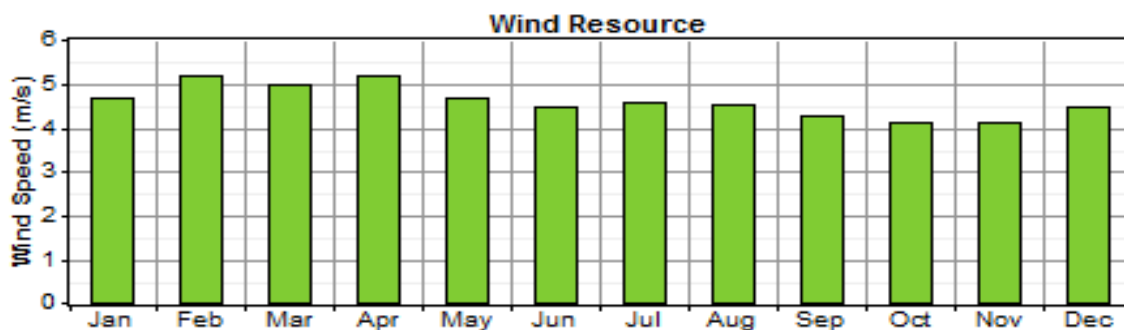
Διάγραμμα 1-1: Ημερήσια πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας και δείκτης καθαρότητας

Όσον αφορά τη θερμοκρασία της περιοχής, από το Διάγραμμα 1-2 φαίνεται ότι οι υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται τους μήνες Μάιο με Σεπτέμβριο και οι χαμηλότερες τους μήνες Δεκέμβριο με Φεβρουάριο. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι περίπου 18.1 °C με τη μέγιστη να φτάνει τους 37 °C και με τη χαμηλότερη να φτάνει τους 3 °C.

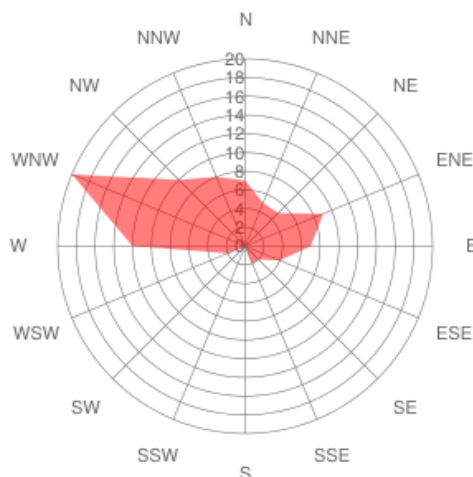


Διάγραμμα 1-2: Θερμοκρασία περιβάλλοντος

Οι άνεμοι που πνέουν στην περιοχή είναι κυρίως δυτικοί – βορειοδυτικοί και λιγότερο ανατολικοί - βορειοανατολικοί (Διάγραμμα 1-4). Η ταχύτητα των ανέμων που πνέουν κατά τη διάρκεια του έτους φαίνεται στο Διάγραμμα 1-3 με τις μεγαλύτερες ταχύτητες να παρατηρούνται τους μήνες Φεβρουάριο με Απρίλιο και τις χαμηλότερες τους μήνες Σεπτέμβριο με Νοέμβριο. Η μέση ετήσια τιμή ταχύτητας ανέμου είναι 4.61 m/s.



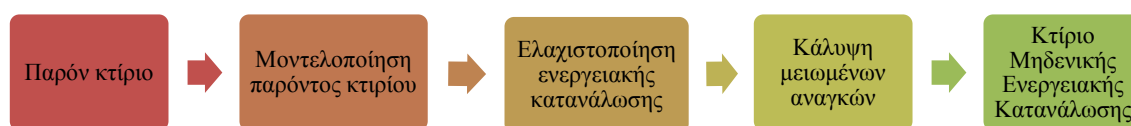
Διάγραμμα 1-3: Μέσες μηνιαίες ταχύτητες ανέμου



Διάγραμμα 1-4: Κόρια κατεύθυνση του ανέμου στην περιοχή μελέτης[24]

2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Αρχικά, το υπάρχον κτίριο μοντελοποιήθηκε στο λογισμικό TRNSYS [25] και έχουν βρεθεί τα φορτία ενέργειας που καταναλώνει. Το δεύτερο βήμα ήταν η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας εφαρμόζοντας μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας. Τέλος, οι μειωμένες αυτές απαιτήσεις σε ενέργεια καλύφθηκαν με παραγωγή ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας έτσι ώστε το παρόν κτίριο να μετατραπεί σε Κτίριο Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης. Τα βήματα που ακολουθήθηκαν παρουσιάζονται στην Εικόνα 2-1.



Εικόνα 2-1: Βήματα προς τη μετατροπή του παρόντος κτιρίου σε κτίριο μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης

Συνολικά εφαρμόστηκαν στο υπάρχον κτίριο 7 διαφορετικά σενάρια και βρέθηκαν οι νέες καταναλώσεις ενέργειας. Αρχικά, πάνω στην αρχική κατάσταση του κτιρίου εφαρμόστηκαν μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας τα οποία διαχωρίζονται και περιγράφονται στα 4 πρώτα σενάρια. Έπειτα, με τη βοήθεια του λογισμικού HOMER ([23], [26]) έγινε προσπάθεια κάλυψης της κατανάλωσης ενέργειας με τον κατάλληλο συνδυασμό εγκατάστασης φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών έτσι ώστε το υπάρχον κτίριο να μετατραπεί σε κτίριο μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (επόμενα 3 σενάρια).

Τα σενάρια που εφαρμόζονται στην υπάρχουσα κατάσταση του κτιρίου παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω (Πίνακας 2-1) :

Πίνακας 2-1: Περιγραφή σεναρίων

	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ				
	Αρχική κατάσταση	Αρχική κατάσταση κτιρίου			
Εξοικονόμηση Ενέργειας	Σενάριο 1	Συνδυασμός των εξής βελτιώσεων στο κέλυφος	Μόνωση στην εξωτερική τοιχοποιία και εφαρμογή ψυχρού υλικού	Αντικατάσταση υαλοπινάκων	Μόνωση στην οροφή
	Σενάριο 2	Συνδυασμός των εξής βελτιώσεων στα εσωτερικά κέρδη	Αντικατάσταση λαμπτήρων	Αντικατάσταση τροφοδοτικών και οθονών των Η/Υ	
	Σενάριο 3	Συνδυασμός των εξής βελτιώσεων στο σύστημα λειτουργίας	Αλλαγή στη θερμοκρασία θέρμανσης και ψύξης	Αλλαγή στην παροχή νωπού αέρα με μηχανικά μέσα	
	Σενάριο 4	Συνδυασμός σεναρίων 1,2 και 3			
Κάλυψη μειωμένων αναγκών	Σενάριο 5	Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών			
	Σενάριο 6	Εγκατάσταση ανεμογεννητριών			
	Σενάριο 7	Συνδυασμός σεναρίων 5 και 6			
	Καλύτερο δυνατό σενάριο	Συνδυασμός σεναρίων 4 και 7			

Οι παραδοχές που λήφθηκαν υπ' όψη για την ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης είναι οι εξής:

- Η ποσότητα του ζεστού νερού που χρησιμοποιείται από τους εργαζόμενους στο κτίριο είναι τόσο μικρή που δεν λήφθηκε υπ' όψη στην παρούσα μελέτη.
- Στη θερμοκρασία του εδάφους δόθηκε σταθερή τιμή 20°C.
- Τα εσωτερικά κέρδη του κτιρίου προέρχονται κυρίως από τους ανθρώπους, τους λαμπτήρες και τους υπολογιστές και δεν λαμβάνονται υπ' όψη ψυγεία, φούρνοι, εκτυπωτές και τυχόν άλλα όργανα που απαιτούν ηλεκτρικό ρεύμα.
- Ο αριθμός των ατόμων και των υπολογιστών κάθε θερμικής ζώνης τέθηκε ύστερα από καταμέτρηση στο χώρο.
- Δεν λήφθηκαν υπ' όψη γειτονικά κτίρια και πιθανές επιρροές τους στα αποτελέσματα.

3 ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ

3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΟΥ

Το υπό μελέτη κτίριο, όπως προαναφέρθηκε είναι το κτίριο Κ2 της σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος η οποία στεγάζεται στο Πολυτεχνείο Κρήτης στα Χανιά. Η κατασκευή της σχολής έγινε το 2002. Δύο όψεις του κτιρίου παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 3-1 και Εικόνα 3-2).



Εικόνα 3-1: Φωτογραφία από τη βόρεια πλευρά του κτιρίου



Εικόνα 3-2: Βορειοανατολική όψη κτιρίου

Το κτίριο αυτό βρίσκεται στο βορειοανατολικό άκρο του πολυτεχνείου σε απόσταση περίπου 2 km από τη θάλασσα και σε υψόμετρο 137 m. Οι συντεταγμένες του είναι 24°A (γεωγραφικό μήκος) and 35°B (γεωγραφικό πλάτος). Το κτίριο αποτελείται από δύο ορόφους και έχει συνολικό ύψος, μήκος και πλάτος 11 m, 48 m και 14.5 m αντίστοιχα. Το ισόγειο (605 m²) και ο πρώτος όροφος (610 m²) στεγάζει γραφεία, εργαστήρια, σκάλες, ανελκυστήρες, χώρους υγιεινής, διαδρόμους και μηχανογραφικά κέντρα. Στον δεύτερο όροφο (421 m²) έχει τοποθετηθεί ο μηχανολογικός εξοπλισμός του κτιρίου και κανένας δεν εργάζεται εκεί. Τα παράθυρα αποτελούν περίπου το 17% της εξωτερικής τοιχοποιίας του κτιρίου και το κάθε ένα έχει διαστάσεις 2m x 1m (μήκος x πλάτος). Στο δεύτερο όροφο δεν υπάρχουν παράθυρα αλλά 16 περσίδες με διαστάσεις 1,5m x 1m (μήκος x πλάτος). Οι ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου καλύπτονται από το δίκτυο καθώς και οι ανάγκες θέρμανσης και ψύξης καλύπτονται επίσης από ηλεκτρισμό.

3.2 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ

Το κτίριο διαχωρίστηκε σε 31 θερμικές ζώνες. Παρακάτω (Πίνακας 3-1) περιγράφονται οι θερμικές ζώνες ως προς τη χρήση τους και τις διαστάσεις τους.

Πίνακας 3-1: Περιγραφή θερμικών ζωνών κτιρίου Κ2

ΚΤΙΡΙΟ Κ2 ΜΗ.ΠΕΡ.		Αρίθμηση ζωνών	Χρήση χώρου	Διαστάσεις (m)		
				Μήκος	Πλάτος	Ύψος
ΕΙΣΟΓΕΙΟ	Αρίθμηση στη Βόρειοδυτική πλευρά, από ανατολικά προς δυτικά	1	Εργαστήρια	12	6	4
		2	Σκάλες	3	6	4
		3	Μηχανογραφικό κέντρο	9	6	4
		4	Εκτυπωτές	3	6	4
		5	Σκάλες	3	6	4
		6	Εργαστήρια	12	6	4
	Αρίθμηση στη Νοτιοανατολική πλευρά, από δυτικά προς ανατολικά	7	Εργαστήριο	9	6	4
		8	Τουαλέτες και ανελκυστήρας	9	6	4
		9	Μηχανογραφικό κέντρο	9	6	4
		10	Τουαλέτες, δωμάτιο ελέγχου μηχ/κού, ανελκυστήρας	6	6	4
		11	Εργαστήριο	9	6	4
		12	Διάδρομος εισογείου	42	2.4	4
1 ^{ος} ΟΡΟΦΟΣ	Αρίθμηση στη Βόρειοδυτική πλευρά, από ανατολικά προς δυτικά	1	Γραφεία	15	5	4
		2	Σκάλες	3	5	4
		3	Γραφείο	3	5	4
		4	Γραφείο	3	5	4
		5	Γραφεία	6	5	4
		6	Σκάλες	3	5	4
		7	Γραφεία	6	5	4
		8	Γραφείο	3	5	4
		9	Γραφείο	3	5	4
		10	Γραφείο	3	5	4
	Αρίθμηση στη Νοτιοανατολική πλευρά, από δυτικά προς ανατολικά	11	Γραφείο	12	5	4
		12	Τουαλέτες, ανελκυστήρας	6	5	4
		13	Εργαστήριο	12	5	4
		14	Τουαλέτες, ανελκυστήρας	6	5	4
		15	Εργαστήριο	12	5	4
	Αρίθμηση στη Βοριοανατολική πλευρά	16	Γραφείο	1.4	3	4
		17	Διάδρομος ορόφου 1	45	4.4	4
		18	Διάδρομος ορόφου 2	3	3	4
2 ^{ος} ΟΡΟΦΟΣ	Ενιαία ζώνη		Μηχανολογικός εξοπλισμός	36	14.4	3

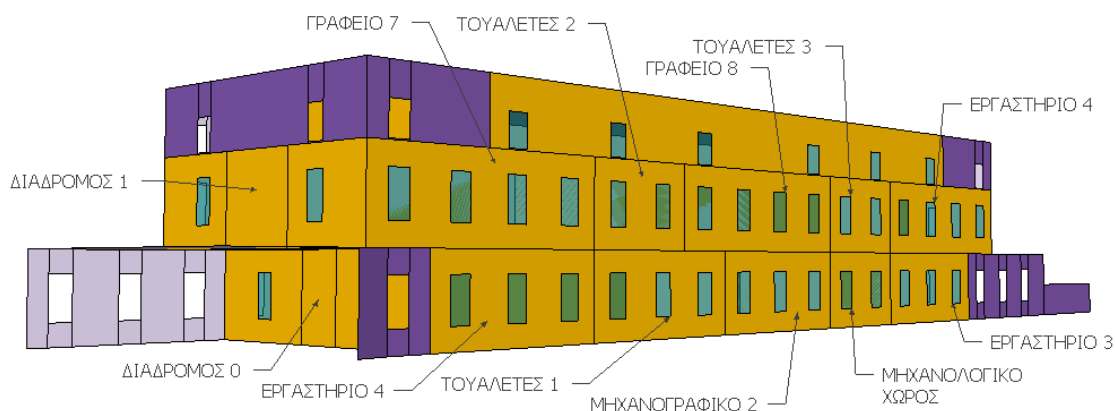
Ο Πίνακας 3-2 στην «ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ» περιλαμβάνει τα ονόματα που έχουν δοθεί σε κάθε ζώνη και που θα χρησιμοποιούνται παρακάτω τόσο στα διαγράμματα όσο και στους πίνακες. Στον «ΚΩΔΙΚΟ ΧΩΡΟΥ» γίνεται η αντιστοίχιση της ονομασίας που δόθηκε με τα πραγματικά ονόματα των χώρων που αναγράφονται έξω από κάθε αίθουσα, περιγράφοντας τον αριθμό των γραφείων που περιλαμβάνει κάθε ζώνη.

Πίνακας 3-2: Ονομασία θερμικών ζωνών και χώροι που περιλαμβάνονται σε αυτές

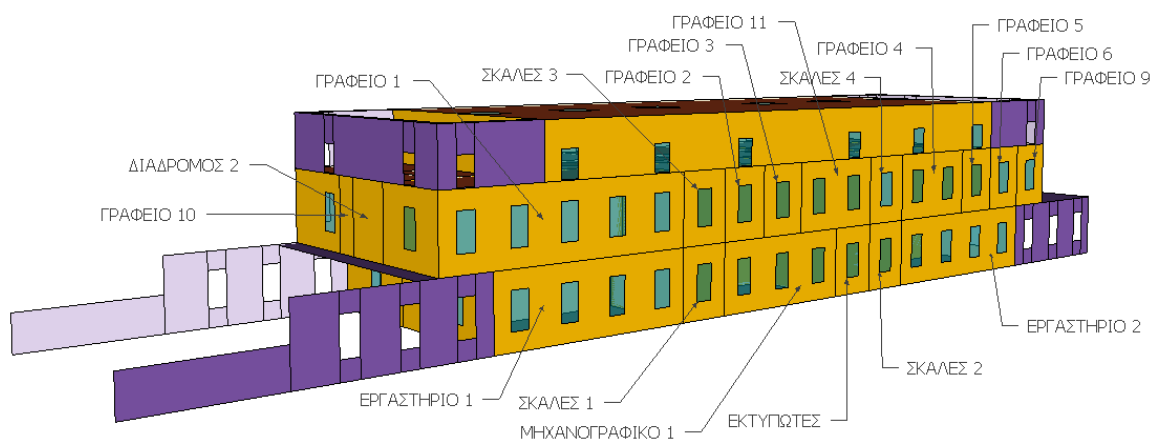
ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΧΩΡΟΥ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 1	K2.009
	K2.008
ΣΚΑΛΕΣ 1	ΣΚΑΛΕΣ 1
ΕΚΤΥΠΩΤΕΣ	K2.006
ΣΚΑΛΕΣ 2	ΣΚΑΛΕΣ 2
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 2	K2.005
	K2.004
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 3	K2.001
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ	ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ
	ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ
ΜΗΧΑΝΟΓΡΑΦΙΚΟ 2	K2.002
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 4	K2.003
ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ 0	ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ ΕΙΣΟΓΕΙΟΥ
ΜΗΧΑΝΟΓΡΑΦΙΚΟ 1	K2.007
ΤΟΥΑΛΕΤΕΣ 1	ΤΟΥΑΛΕΤΕΣ
	ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ
ΓΡΑΦΕΙΟ 1	K2.120
	K2.119
	K2.118
	K2.117
	K2.116
ΣΚΑΛΕΣ 3	ΣΚΑΛΕΣ 3
ΓΡΑΦΕΙΟ 2	K2.115
ΓΡΑΦΕΙΟ 3	K2.114
ΣΚΑΛΕΣ 4	ΣΚΑΛΕΣ 4
ΓΡΑΦΕΙΟ 4	K2.111
	K2.110
ΓΡΑΦΕΙΟ 5	K2.109
ΓΡΑΦΕΙΟ 6	K2.108
ΓΡΑΦΕΙΟ 7	K2.105
	K2.106
ΓΡΑΦΕΙΟ 8	K2.104
ΤΟΥΑΛΕΤΕΣ 3	ΤΟΥΑΛΕΤΕΣ
	ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 4	K2.102
	K2.103
ΓΡΑΦΕΙΟ 9	K2.107
ΓΡΑΦΕΙΟ 10	K2.101
ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ 1	ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ 1 ^{ου} ΟΡΟΦΟΥ (1)
ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ 2	ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ 1 ^{ου} ΟΡΟΦΟΥ (2)
ΤΟΥΑΛΕΤΕΣ 2	ΤΟΥΑΛΕΤΕΣ
	ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΧΩΡΟΥ
ΓΡΑΦΕΙΟ 11	K2.112
	K2.113

Παρακάτω (Εικόνα 3-3 και Εικόνα 3-4) απεικονίζονται (από το πρόγραμμα sketch up) δύο όψεις του μοντελοποιημένου κτιρίου K2 των Μηχανικών Περιβάλλοντος με τις θερμικές ζώνες που χωρίστηκε και τις ονομασίες που δόθηκαν σε αυτές.



Εικόνα 3-3: Νότια άποψη κτιρίου K2



Εικόνα 3-4: Βόρεια άποψη κτιρίου K2

3.3 ΩΡΑΡΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Το ωράριο των εργαστηρίων και των γραφείων θεωρείται ότι είναι 8:00π.μ. – 6:00μ.μ. από Δευτέρα – Παρασκευή, ενώ των μηχανογραφικών κέντρων και του γραφείου που βρίσκονται οι εκτυπωτές 9:00π.μ. – 15:00μ.μ. Τα Σαββατοκύριακα το κτίριο παραμένει κλειστό.

3.4 ΚΕΛΥΦΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ

Η αεροστεγανότητα του κτιρίου για να υπολογιστεί απαιτεί μετρήσεις με ειδικό εξοπλισμό, εκτιμήσεις από την κατασκευή του κτιρίου ή πληροφορίες από χρήστες για ρεύματα αέρα. Ωστόσο, οι Εθνικές Βιβλιοθήκες δίνουν κάποιες τιμές αεροστεγανότητας ανάλογα με την κατασκευή του κτιρίου. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές της αεροστεγανότητας είναι

- 0.1-0.3 εναλλαγές/h για νέα αεροστεγή κτίρια.
- 0.5-0.7 εναλλαγές/h για υπάρχοντα κτίρια με καλή κατασκευή και
- >1.0 εναλλαγές/h για κτίρια με μόνιμες θυρίδες αερισμού

Η τιμή της αεροστεγανότητας του κτιρίου είναι 0.5 εναλλαγές/h καθώς ανήκει στην κατηγορία υπάρχοντα κτίρια με καλή κατασκευή.

Τα υλικά και τα χαρακτηριστικά του κελύφους του κτιρίου φαίνονται παρακάτω (Πίνακας 3-3) :

Πίνακας 3-3: Κέλυφος κτιρίου

Αρχική κατάσταση κελύφους κτιρίου	Υλικά	U-value (W/m ² K)
Εξωτερική τοιχοποιία	Γιψοσανίδα	0.915
	Πολυστερίνη	
	Τσιμεντοσανίδα	
Οροφή	Οπλισμένο σκυρόδεμα	1.449
	Πολυστερίνη	
Δάπεδο	Μάρμαρο	0.945
	Πολυστερίνη	
Υαλοπίνακες	Διπλοί (4/16/4)	2.83

Οι υπάρχοντες υαλοπίνακες είναι διπλοί (4/16/4 – δηλ. 4mm τζάμι, 16mm ξηρός αέρας και άλλα 4mm τζάμι), καλύπτουν περίπου το 17% της εξωτερικής επιφάνειας του κτιρίου και έχουν $U\text{-value} = 2.83 \text{ W/m}^2\text{K}$ και $g\text{-value} = 0.789$.

Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι το 10% της ηλιακής ακτινοβολίας αντανακλάται από την εξωτερική τοιχοποιία. Η τιμή αυτή εξαρτάται από τη χρωματική επικάλυψη του κτιρίου αλλά και από τα αντανακλαστικά χαρακτηριστικά του.

3.5 ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΚΕΡΔΗ

Τα εσωτερικά κέρδη του κτιρίου θεωρήθηκε ότι προέρχονται από:

- το Ανθρώπινο δυναμικό
- τους Λαμπτήρες
- τους Ηλεκτρονικούς Υπολογιστές

ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Το ανθρώπινο δυναμικό που απασχολείται στο κτίριο αποτελείται από μέλη Διδακτικού Ερευνητικού Προσωπικού (ΔΕΠ), υποψήφιους διδάκτορες, μεταπτυχιακούς και προπτυχιακούς φοιτητές καθώς και από το προσωπικό που είναι υπεύθυνο για τα μηχανογραφικά κέντρα. Παρακάτω φαίνεται αναλυτικά πόσοι εργάζονται σε κάθε χώρο (Πίνακας 3-4):

Πίνακας 3-4: Εργαζόμενοι / χώρο

ΧΩΡΟΙ	ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟΙ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 1	4
ΣΚΑΛΕΣ 1	0
ΕΚΤΥΠΩΤΕΣ	0
ΣΚΑΛΕΣ 2	0
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 2	4
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 3	2
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ	0
ΜΗΧΑΝΟΓΡΑΦΙΚΟ 2	8
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 4	3
ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ 0	0
ΓΡΑΦΕΙΟ 1	5
ΣΚΑΛΕΣ 3	0
ΓΡΑΦΕΙΟ 2	1
ΓΡΑΦΕΙΟ 3	1
ΣΚΑΛΕΣ 4	0
ΓΡΑΦΕΙΟ 4	2

ΧΩΡΟΙ	ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟΙ
ΓΡΑΦΕΙΟ 5	2
ΓΡΑΦΕΙΟ 6	3
ΓΡΑΦΕΙΟ 7	3
ΓΡΑΦΕΙΟ 8	3
ΤΟΥΑΛΕΤΕΣ 3	0
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 4	3
ΓΡΑΦΕΙΟ 9	2
ΓΡΑΦΕΙΟ 10	0
ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ 1	0
ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ 2	0
ΜΗΧΑΝΟΓΡΑΦΙΚΟ 1	8
ΤΟΥΑΛΕΤΕΣ 1	0
ΤΟΥΑΛΕΤΕΣ 2	0
ΓΡΑΦΕΙΟ 11	2

Η δραστηριότητα των εργαζόμενων θεωρήθηκε ότι είναι ελαφριά καθιστική εργασία κυρίως σε υπολογιστή. Σύμφωνα με τη βιβλιοθήκη του TRNBUILD του προγράμματος TRNSYS η συνολική παραγόμενη θερμότητα που παράγει κάθε άνθρωπος εκτελώντας την παραπάνω δραστηριότητα είναι 150 Watts, τα αισθητά κέρδη που αποδίδει είναι 75 Watts και τα λανθάνοντα 75 Watts.

ΛΑΜΠΤΗΡΕΣ

Οι λαμπτήρες που ήδη υπάρχουν καταναλώνουν 19 W/m^2 . Θεωρήθηκε ότι οι λαμπτήρες λειτουργούν 2 ώρες το πρωί (8:00 – 10:00) και 2 ώρες το απόγευμα (16:00 – 18:00). Εξαίρεση αποτελούν τα μηχανογραφικά κέντρα στα οποία λόγω του μειωμένου ωραρίου και της χρήσης τους θεωρείται ότι δεν απαιτείται σχεδόν καθόλου η χρήση λαμπτήρων.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ

Οι υπολογιστές είναι ισχύος 140 W και θεωρείται ότι είναι ανοιχτοί όλες τις ώρες λειτουργίας των χώρων. Ο αριθμός τους ποικίλλει ανάλογα με τους εργαζόμενους σε κάθε ζώνη. Μετά από επιτόπου καταμέτρηση, οι υπολογιστές που λειτουργούν σε κάθε ζώνη φαίνονται παρακάτω (Πίνακας 3-5):

Πίνακας 3-5: Υπολογιστές / χώρο

ΧΩΡΟΙ	ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 1	4
ΣΚΑΛΕΣ 1	0
ΕΚΤΥΠΩΤΕΣ	2
ΣΚΑΛΕΣ 2	0
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 2	4
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 3	2
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ	0
ΜΗΧΑΝΟΓΡΑΦΙΚΟ 2	25
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 4	3
ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ 0	0
ΓΡΑΦΕΙΟ 1	5
ΣΚΑΛΕΣ 3	0
ΓΡΑΦΕΙΟ 2	1
ΓΡΑΦΕΙΟ 3	1
ΣΚΑΛΕΣ 4	0
ΓΡΑΦΕΙΟ 4	2
ΓΡΑΦΕΙΟ 5	2
ΓΡΑΦΕΙΟ 6	3
ΓΡΑΦΕΙΟ 7	3
ΓΡΑΦΕΙΟ 8	3
ΤΟΥΑΛΕΤΕΣ 3	0
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 4	3
ΓΡΑΦΕΙΟ 9	2
ΓΡΑΦΕΙΟ 10	0
ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ 1	0
ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ 2	0
ΜΗΧΑΝΟΓΡΑΦΙΚΟ 1	25
ΤΟΥΑΛΕΤΕΣ 1	0
ΤΟΥΑΛΕΤΕΣ 2	0
ΓΡΑΦΕΙΟ 11	2

Περίπου οι μισοί υπολογιστές του κτιρίου βρίσκονται στο χώρο των μηχανογραφικών κέντρων.

3.6 ΣΥΣΤΗΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Θέρμανση – Ψύξη

Το σύστημα θέρμανσης-ψύξης του κτιρίου για τη λειτουργία του χρησιμοποιεί ηλεκτρισμό. Αποτελείται από 2 αντλίες θερμότητας τύπου VRV (6.44 kW) οι οποίες είναι εγκατεστημένες στον εξωτερικό χώρο του δεύτερου ορόφου του κτιρίου. Ο συντελεστής απόδοσης για εκπομπή και διανομή είναι ίσος με 1 και ο συντελεστής ενεργειακής απόδοσης (COP) είναι ίσος με 2. Ο συντελεστής ενεργειακής απόδοσης εκφράζει το λόγο της απομακρυνόμενης θερμότητας από ένα χώρο, προς την ενέργεια που απαιτείται από το κλιματιστικό σώμα για την απομάκρυνση αυτή [27]. Δηλαδή για κάθε Watt ηλεκτρικού ρεύματος που καταναλώνεται, αποδίδονται 2 Watt θερμότητας και ψύξης στον κλιματιζόμενο χώρο.

Η ρύθμιση του θερμοστάτη κατά τους χειμερινούς μήνες (Νοέμβριος-Απρίλιος) έχει οριστεί στους 20°C και κατά τους θερινούς μήνες (Μάιος-Οκτώβριος) στους 26 °C, όταν το κτίριο βρίσκεται σε λειτουργία. Πρέπει να σημειωθεί ότι το σύστημα θέρμανσης – ψύξης λειτουργεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μην είναι εφικτή η ταυτόχρονη θέρμανση ενός χώρου με την ψύξη ενός άλλου χώρου (δηλαδή λειτουργεί η θέρμανση ή η ψύξη και όχι και τα δύο ταυτόχρονα).

Παροχή νωπού αέρα με μηχανικά μέσα

Η μεταφορά νωπού αέρα με μηχανικά μέσα σύμφωνα με ανάλυση και μελέτη των μηχανολογικών σχεδίων του κτιρίου φαίνεται παρακάτω και πραγματοποιείται μόνο τις ώρες λειτουργίας των αντίστοιχων χώρων:

Πίνακας 3-6: Τιμές παροχής αέρα αρχικής κατάστασης

ΧΩΡΟΙ	Αρχική κατάσταση παροχής αέρα	
	L/s	Kg/h
ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ 0	139	600.5
ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ 1	125	540.4
ΕΚΤΥΠΩΤΕΣ	17	73.4
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 1	117	505.44
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 2		
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 3	100	432
ΓΡΑΦΕΙΟ 7		
ΓΡΑΦΕΙΟ 8		
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 4		
ΓΡΑΦΕΙΟ 1	85	367.2
ΓΡΑΦΕΙΟ 11	34	146.9
ΓΡΑΦΕΙΟ 4		
ΜΗΧΑΝΟΓΡΑΦΙΚΟ 2	100	432
ΜΗΧΑΝΟΓΡΑΦΙΚΟ 1		
ΓΡΑΦΕΙΟ 2	17	73.44
ΓΡΑΦΕΙΟ 3		
ΓΡΑΦΕΙΟ 5		
ΓΡΑΦΕΙΟ 6		
ΓΡΑΦΕΙΟ 9		
ΓΡΑΦΕΙΟ 10	0	0
ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ 2		
ΤΟΥΑΛΕΤΕΣ		
ΣΚΑΛΕΣ		
ΜΗΧ/ΚΟΣ ΧΩΡΟΣ		

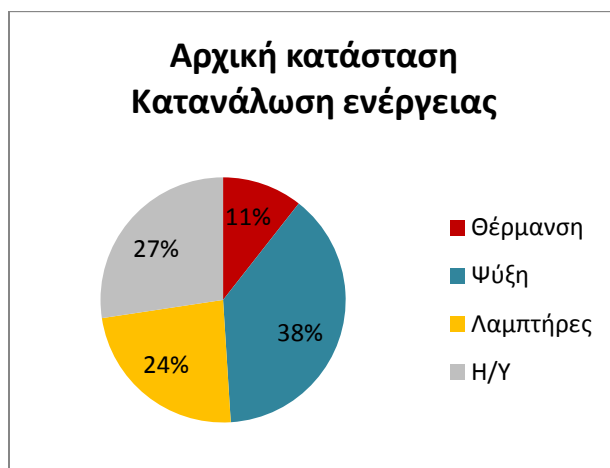
Παρατηρούμε παραπάνω (Πίνακας 3-6) ότι κάποιοι χώροι έχουν μηδενική τιμή παροχής νωπού αέρα. Αυτό συμβαίνει στις σκάλες και στις τουαλέτες διότι έχει οριστεί μία ενιαία τιμή για τις σκάλες, τις τουαλέτες και τους διαδρόμους και έχει τοποθετηθεί στη θερμική ζώνη του κάθε διαδρόμου. Όσον αφορά το γραφείο 10, είναι ένα πολύ μικρό δωμάτιο (4 m²) όπου δεν εργάζεται κανένας και τέλος στον μηχανολογικό χώρο δεν απαιτείται ξεχωριστός αερισμός.

3.7 ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Λαμβάνοντας υπ' όψη το ωράριο λειτουργίας του κτιρίου, τα χαρακτηριστικά του κελύφους, τα εσωτερικά κέρδη, το σύστημα λειτουργίας καθώς και τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής, προκύπτει η παρακάτω κατανάλωση ενέργειας (Πίνακας 3-7, Διάγραμμα 3-1).

Πίνακας 3-7: Κατανάλωση ενέργειας στην αρχική κατάσταση

Κατανάλωση ενέργειας (kWh/m ² /yr)	Αρχική κατάσταση
Θέρμανση	8,0
Ψύξη	29,0
Λαμπτήρες	17,8
H/Y	20,7
Σύνολο	75,5

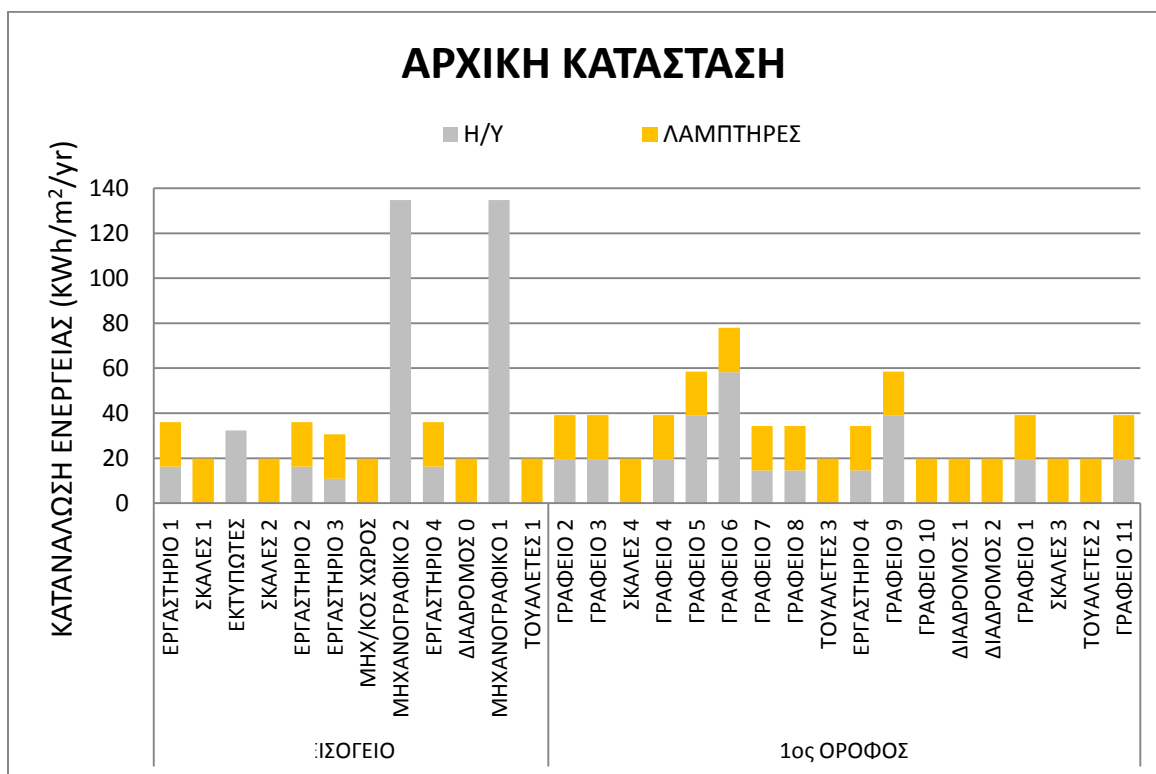


Διάγραμμα 3-1: Κατανάλωση ενέργειας κτιρίου στην αρχική κατάσταση

Παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας χρειάζεται για την κάλυψη αναγκών ψύξης. Το γεγονός αυτό είναι απόλυτα λογικό καθώς το υπό εξέταση κτίριο βρίσκεται στα Χανιά τα οποία ανήκουν στην Α κατηγορία (σύμφωνα με την TOTEE 1[28]). Για τη λειτουργία των υπολογιστών και του φωτισμού απαιτείται σχεδόν ίση ενέργεια, ενώ για τη θέρμανση ένα μικρό ποσό ενέργειας αρκεί.



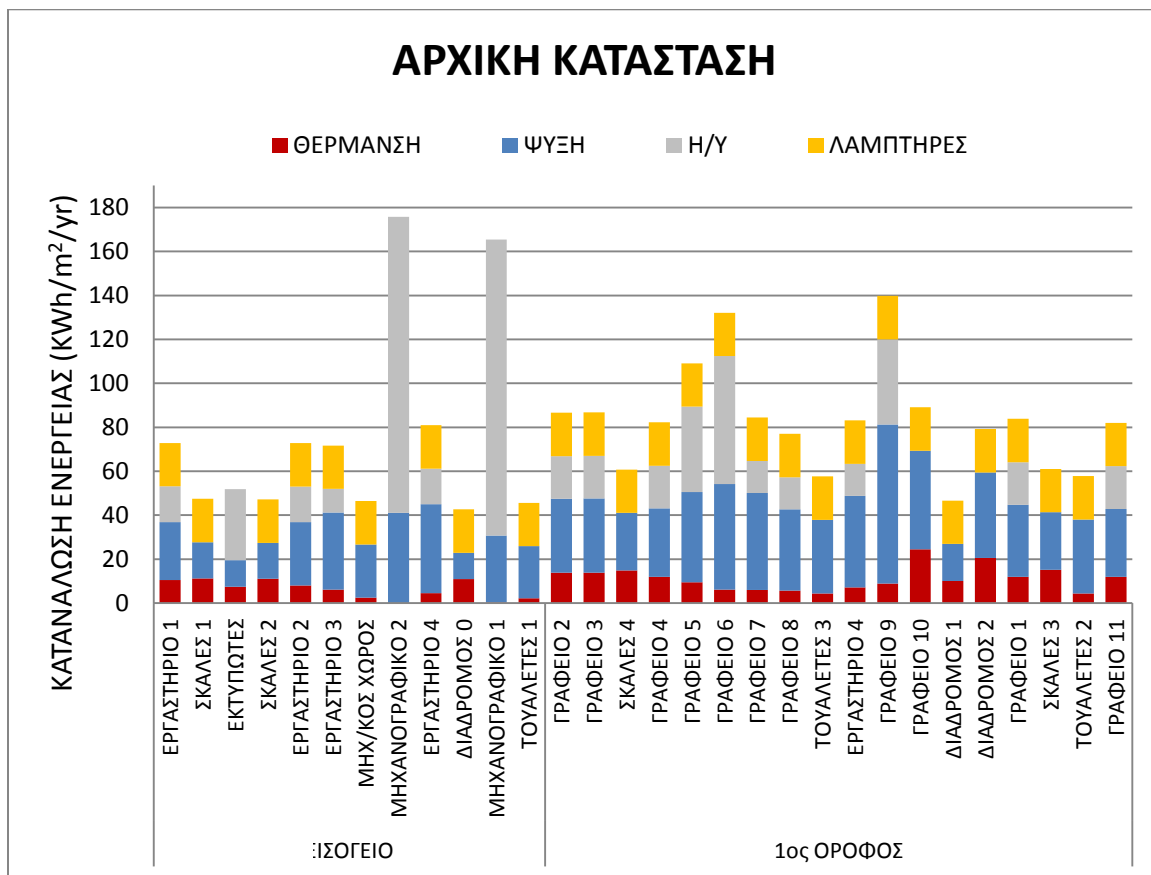
Παρακάτω (Διάγραμμα 3-3) απεικονίζεται η κατανάλωση του κτιρίου για το φωτισμό και τη λειτουργία ηλεκτρονικών υπολογιστών. Η κατανάλωση ενέργειας από τους λαμπτήρες απουσιάζει από τα μηχανογραφικά και τους εκτυπωτές λόγω του ωραρίου των ζωνών αυτών που είναι αρκετά περιορισμένο (9:00 – 15:00) και σε ώρα που η ηλιοφάνεια είναι υψηλή. Γίνεται αμέσως αντιληπτή η μεγάλη διαφορά που έχουν τα μηχανογραφικά κέντρα στην κατανάλωση ενέργειας από υπολογιστές, γεγονός που είναι απόλυτα λογικό καθώς λειτουργούν 25 υπολογιστές σε χώρο 54 m². Επιπλέον, παρατηρείται αυξημένη κατανάλωση ενέργειας από υπολογιστές στα γραφεία 5,6 και 9 διότι τα γραφεία αυτά αν και είναι 15 m² στεγάζουν 2, 3 και 2 υπολογιστές αντίστοιχα ενώ στα υπόλοιπα γραφεία που είναι 15 m² (γραφεία 2 και 3) υπάρχει μόνο 1 υπολογιστής.



Διάγραμμα 3-3: Αρχική κατανάλωση ενέργειας από λαμπτήρες και Η/Υ

Από το Διάγραμμα 3-4 παρατηρείται ότι στο **γραφείο 5** υπάρχει μεγάλη κατανάλωση ενέργειας/m² και αυτό συμβαίνει διότι εργάζονται 2 άτομα με 2 υπολογιστές και ο χώρος είναι αρκετά περιορισμένος (15 m²). Στο **γραφείο 9** υπάρχουν οι ίδιες συνθήκες με το γραφείο 5 (άτομα και υπολογιστές) με τη μόνη διαφορά ότι το γραφείο 9 είναι εκτεθειμένο τόσο στην οροφή (δεν υπάρχει ο όροφος 2 από επάνω) όσο και στις εξωτερικές του όψεις γεγονός που δικαιολογεί απόλυτα τις υψηλές καταναλώσεις του. Τέλος, όσον αφορά το **γραφείο 6**, παρατηρείται επίσης υψηλή κατανάλωση ενέργειας

καθώς εργάζονται 3 άτομα με τρεις υπολογιστές σε 15 m² και με την οροφή και τη μία όψη της ζώνης να είναι εκτεθειμένες στον εξωτερικό αέρα.



Διάγραμμα 3-4: Κατανάλωση ενέργειας ζωνών στην Αρχική κατάσταση

4 ΜΕΙΩΣΗ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

4.1 ΣΕΝΑΡΙΟ 1: ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΟ ΚΕΛΥΦΟΣ

Στο σενάριο αυτό, θα εξεταστούν 3 αλλαγές στο κέλυφος του κτιρίου:

1. Προσθήκη επιπλέον θερμομόνωσης και ψυχρού υλικού στην εξωτερική τοιχοποιία
2. Αντικατάσταση υαλοπινάκων
3. Προσθήκη επιπλέον θερμομόνωσης στην οροφή του κτιρίου

Προσθήκη επιπλέον θερμομόνωσης και ψυχρού υλικού στην εξωτερική τοιχοποιία

Με σκοπό αφενός τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και αφετέρου την επίτευξη ενός ευχάριστου εσωκλίματος στο εσωτερικό του κτιρίου, επιδιώκεται ο περιορισμός στο ελάχιστο δυνατό των ανταλλαγών θερμότητας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος χωρίς να υποβαθμίζονται οι συνθήκες ποιότητας και άνεσης των εργαζόμενων. Το γεγονός αυτό επιτυγχάνεται με τη θερμομονωτική προστασία των δομικών στοιχείων της κτιριακής κατασκευής. Με αυτόν τον τρόπο κατά τη χειμερινή περίοδο περιορίζονται οι θερμικές απώλειες προς το εξωτερικό περιβάλλον και κατά τη θερινή, η υπερθέρμανση λόγω θερμικών προσόδων από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Τα ψυχρά υλικά είναι ειδικές επιστρώσεις οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να αντανακλούν μεγαλύτερο ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας από αυτό που αντανακλούν τα χρώματα που χρησιμοποιούνται συνήθως. Στην περίπτωση που εξετάζεται η ήδη υπάρχουσα επιστρώση έχει τη δυνατότητα να αντανακλά μόνο το 10% της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει. Θα εξεταστεί η εφαρμογή ενός ψυχρού υλικού στην εξωτερική τοιχοποιία το οποίο έχει τη δυνατότητα να αντανακλά το 89% της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει[29].

Επιπλέον θα προστεθεί στην εξωτερική τοιχοποιία θερμομόμωση με εξηλασμένη πολυστερίνη πάχους 2cm. Με αυτήν την αλλαγή το συνολικό U-value της εξωτερικής τοιχοποιίας από 0.915 W/m² γίνεται 0.436 W/m².

Επειδή οι αλλαγές αυτού του μέρους του Σεναρίου 1 αναφέρονται μόνο σε αλλαγές στο κέλυφος και όχι στα εσωτερικά κέρδη, θα παρουσιαστεί το διάγραμμα που δείχνει μόνο τη νέα κατανάλωση σε θέρμανση και ψύξη και όχι την κατανάλωση ενέργειας από λαμπτήρες και υπολογιστές καθώς αυτό θα είναι όμοιο με το αντίστοιχο διάγραμμα της αρχικής κατάστασης (Διάγραμμα 3-3).

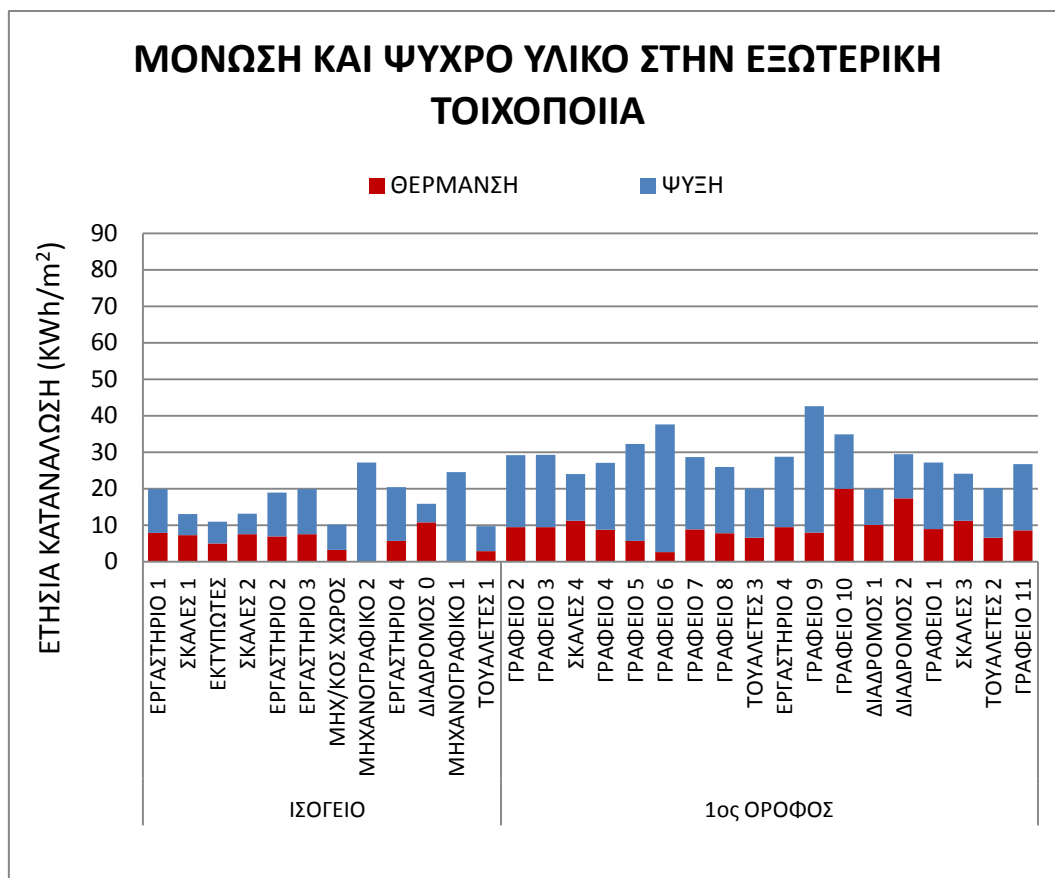
Από το παρακάτω διάγραμμα και πίνακα (Διάγραμμα 4-1, Πίνακας 4-1), η γενική παρατήρηση που βγαίνει είναι ότι όλες οι απαιτήσεις ψύξης μειώθηκαν κατά πολύ (σχεδόν στο μισό) σε σύγκριση με το διάγραμμα του αρχικού σεναρίου (Διάγραμμα 3-2) και οι αντίστοιχες για θέρμανση μειώθηκαν λίγο, σχεδόν 6%. Η συνολική εξοικονόμηση στην κατανάλωση ενέργειας που αποδίδει αυτή η αλλαγή είναι 20.5%, ποσοστό πολύ ικανοποιητικό.

Το ψυχρό υλικό δρα πολύ θετικά στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη καθώς δεν επιτρέπει μεγάλο ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας να απορροφηθεί και να θερμάνει το κέλυφος, έχει όμως πολύ αρνητικές επιδράσεις στη θέρμανση καθώς κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών η ηλιακή ακτινοβολία δεν απορροφάται από την εξωτερική τοιχοποιία για να αυξηθεί λίγο η θερμοκρασία στο εσωτερικό του κτιρίου και να απαιτούνται λιγότερα φορτία θέρμανσης. Από την άλλη πλευρά, η μόνωση στην εξωτερική τοιχοποιία επιφέρει μείωση στα απαιτούμενα φορτία θέρμανσης και ψύξης και κατ' επέκταση στην αντίστοιχη κατανάλωση.

Τα γραφεία 5,6,9 και 10 όπως και τα μηχανογραφικά συνεχίζουν να έχουν υψηλές καταναλώσεις για τους λόγους που προαναφέρθηκαν (§**Error! Reference source not found.**).

Πίνακας 4-1: Εξοικονόμηση ενέργειας μετά από μόνωση στην τοιχοποιία και εφαρμογή ψυχρού υλικού

		Θέρμανση	Ψύξη	Λαμπτήρες	H/Y	Σύνολο
Αρχική κατάσταση		8.0	29.0	17.8	20.7	75.5
Μόνωση στην τοιχοποιία κ ψυχρό υλικό	Κατανάλωση (kWh/m ² /yr)	7.5	14.0	17.8	20.7	60.0
	Εξοικονόμηση ενέργειας	6.3%	51.7%	0	0	20.5%



Διάγραμμα 4-1: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας για ψύξη και θέρμανση μετά από προσθήκη μόνωσης στην εξωτερική τοιχοποιία

Αλλαγή υαλοπινάκων

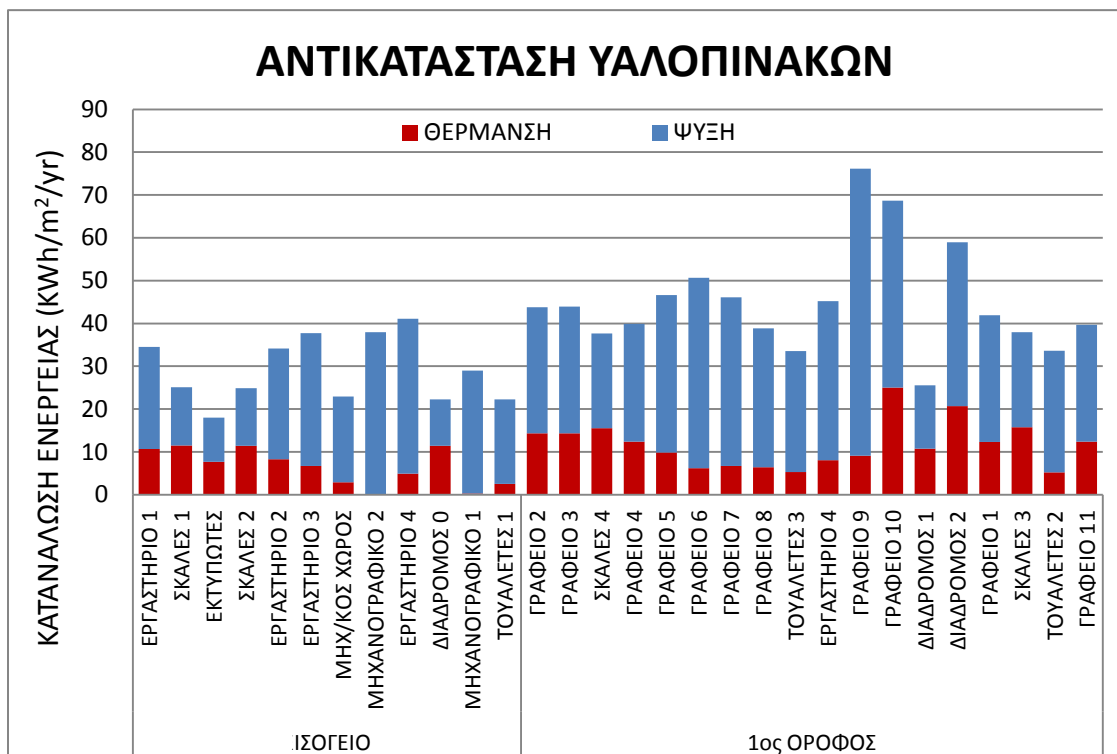
Οι υπάρχοντες υαλοπίνακες είναι διπλοί (4/16/4) με U-value = 2.89 W/m²K και g-value = 0.789. Αρκετά ενδιαφέρον θα ήταν να μελετηθεί η πιθανή αλλαγή της συμπεριφοράς του κτιρίου σε περίπτωση που αντί για τους υπάρχοντες υαλοπίνακες υπήρχαν νέοι διπλοί (6/14/4), οι οποίοι έχουν U-value = 1,04 W/m²K και g-value = 0,227.

Εφαρμόζοντας τους νέους υαλοπίνακες, παρατηρούμε (Πίνακας 4-2, Διάγραμμα 4-2) ότι για την ψύξη απαιτείται περίπου 10% λιγότερη ενέργεια ενώ για τη θέρμανση απαιτείται 5% περισσότερη ενέργεια. Στο γεγονός ότι οι νέοι υαλοπίνακες έχουν χαμηλότερο U-value, επομένως ο αέρας που έχει ψυχθεί ή θερμανθεί δεν χάνει εύκολα τη θερμοκρασία του, οφείλεται η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη. Η αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση προκαλείται διότι οι νέοι υαλοπίνακες εκτός από χαμηλότερο U-value έχουν και χαμηλότερο g-value, δηλαδή εμποδίζεται περισσότερο η

μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία. Η συνολική εξοικονόμηση ενέργειας που πετυχαίνεται είναι 3.4%, ποσοστό αρκετά μικρό αλλά και αρκετά αναμενόμενο καθώς το ποσοστό της εξωτερικής επιφάνειας του κτιρίου που καλύπτεται από υαλοπίνακες είναι μόνο το 17%.

Πίνακας 4-2: Εξοικονόμηση ενέργειας μετά από αντικατάσταση υαλοπινάκων

		Θέρμανση	Ψύξη	Λαμπτήρες	Η/Υ	Σύνολο
Αρχική κατάσταση		8.0	29.0	17.8	20.7	75.5
Αντικατάσταση υαλοπινάκων	Κατανάλωση (kWh/m ² /yr)	8.4	26.0	17.8	20.7	72.9
	Εξοικονόμηση ενέργειας	-5.0%	10.3%	0	0	3.4%



Διάγραμμα 4-2: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας και ψύξη και θέρμανση μετά από αντικατάσταση υαλοπινάκων

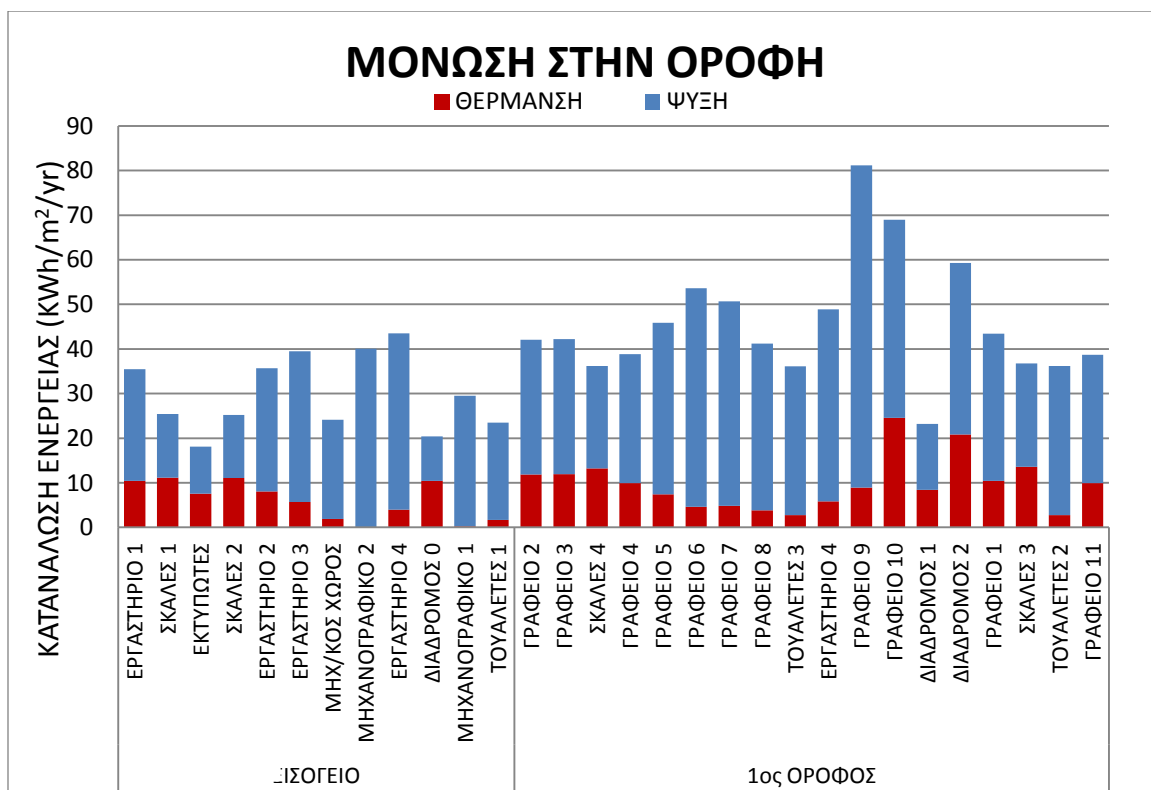
Προσθήκη μόνωσης στην οροφή

Σε αυτήν την κατηγορία εξετάζεται η αλλαγή της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτιρίου σε περίπτωση που η μόνωση στην οροφή γίνει 3cm τοποθετώντας εξηλασμένη πολυστερίνη και το συνολικό U-value της οροφής γίνει 0.671 W/m² από 1449 W/m².

Από τον παρακάτω πίνακα και το διάγραμμα (Διάγραμμα 4-3, Πίνακας 4-3) φαίνεται ότι τόσο στη θέρμανση όσο και στην ψύξη παρατηρείται μείωση κατανάλωσης ενέργειας κατά 1 kWh/m² προκαλώντας 12.5 % εξοικονόμηση ενέργειας στη θέρμανση, περίπου 3.5% στην ψύξη και περίπου 2.5 % μείωση στην συνολική κατανάλωση ενέργειας. Το ποσοστό αυτό εξοικονόμησης ενέργειας είναι αρκετά μικρό.

Πίνακας 4-3: Εξοικονόμηση ενέργειας μετά από μόνωση στην οροφή

		Θέρμανση	Ψύξη	Λαμπτήρες	H/Y	Σύνολο
Αρχική κατάσταση		8.0	29.0	17.8	20.7	75.5
Μόνωση στην οροφή	Κατανάλωση (kWh/m ² /yr)	7.0	28.0	17.8	20.7	73.5
	Εξοικονόμηση ενέργειας	12.5%	3.4%	0	0	2.6%



Διάγραμμα 4-3: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας για ψύξη και θέρμανση μετά από προσθήκη μόνωσης στην οροφή

Αθροιστικές αλλαγές στο κέλυφος του κτιρίου

Προσθέτοντας μόνωση στην εξωτερική τοιχοποιία και στην οροφή, καλύπτοντας με ψυχρό υλικό την εξωτερική τοιχοποιία και αντικαθιστώντας τους υαλοπίνακες προκύπτουν οι εξής αλλαγές στο κέλυφος του κτιρίου (Πίνακας 4-4):

Πίνακας 4-4: Αλλαγές στο κέλυφος (Σενάριο 1)

Κατάσταση	Αλλαγές	Εξωτερική τοιχοποιία	Οροφή	Υαλοπίνακες
Αρχική	Μόνωση με πολυστερίνη (cm)	3	2	-
	Συνολικό U-value (W/m ² /K)	0.915	1.449	2,83
	g-value	-	-	0,755
	Αντανάκλαση ηλιακού φωτός (%)	10	-	-
Σενάριο 1	Μόνωση με πολυστερίνη (cm)	5	3	-
	Συνολικό U-value (W/m ² /K)	0.436	0.671	1,04
	g-value	-	-	0,227
	Αντανάκλαση ηλιακού φωτός μετά από εφαρμογή ψυχρού υλικού(%)	89	-	-

Η νέα συνολική κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου (Πίνακας 4-5) και η επιμέρους κατανάλωση κάθε ζώνης (Διάγραμμα 4-4) απεικονίζονται παρακάτω.

Συγκρίνοντας τη νέα κατανάλωση ενέργειας που προκύπτει εφαρμόζοντας τις παραπάνω αλλαγές με την αρχική κατανάλωση του κτιρίου, προκύπτει 26,5 % συνολική εξοικονόμηση ενέργειας η οποία προκαλείται μόνο από την πολύ μεγάλη (69 %) εξοικονόμηση ενέργειας στην ψύξη καθώς η αλλαγή στην κατανάλωση για θέρμανση είναι μηδενική. Η κατανάλωση ενέργειας από τους λαμπτήρες και τους υπολογιστές παραμένει η ίδια καθώς δεν έγινε κάποια αλλαγή σε αυτά.

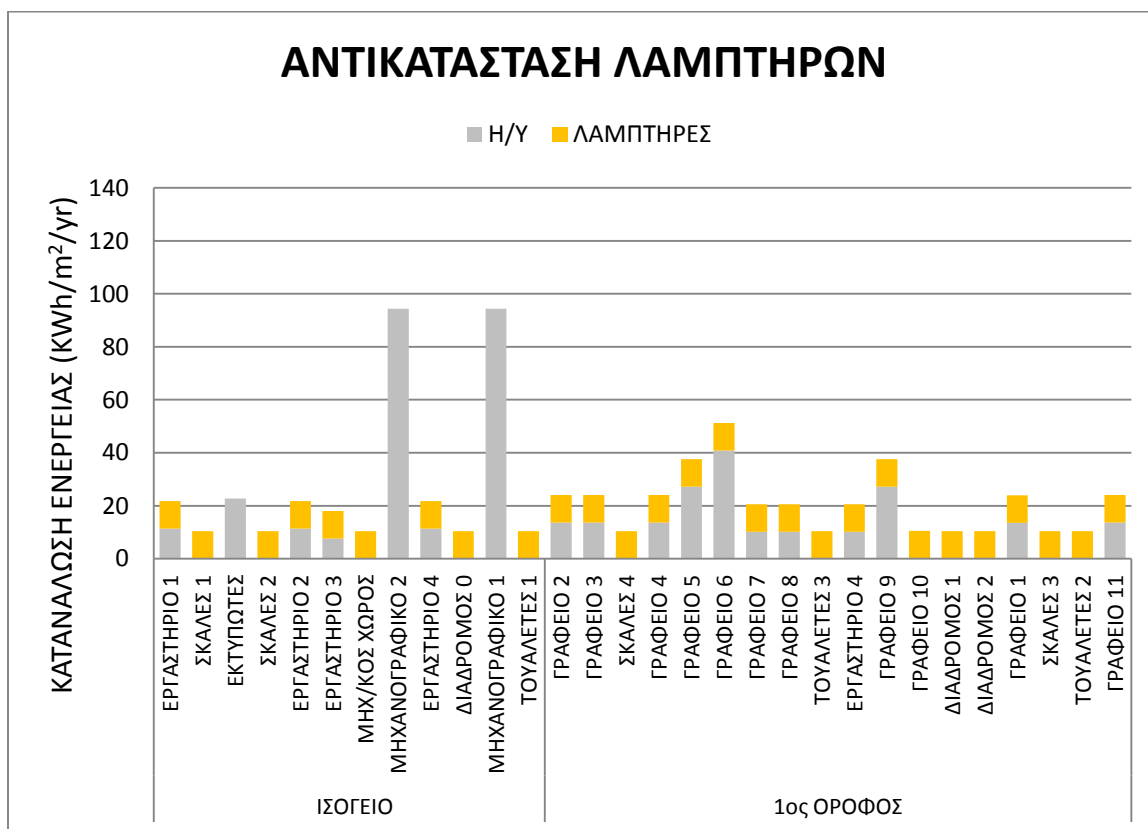
Πίνακας 4-5: Εξοικονόμηση ενέργειας – Σενάριο 1

Κατανάλωση ενέργειας (kWh/m ² /yr)	Αρχική κατάσταση	Σενάριο 1	Εξοικονόμηση ενέργειας
Θέρμανση	8,0	8,0	0
Ψύξη	29,0	9,0	69,0%
Λαμπτήρες	17,8	17,8	0
H/Y	20,7	20,7	0
Σύνολο	75,5	55,5	26,5%

ενέργειας που πετυχαίνεται αντικαθιστώντας τους λαμπτήρες όλου του κτιρίου είναι 11.5%, αρκετά σημαντικό ποσοστό.

Πίνακας 4-6: Εξοικονόμηση ενέργειας μετά από αντικατάσταση λαμπτήρων

		Θέρμανση	Ψύξη	Λαμπτήρες	H/Y	Σύνολο
Αρχική κατάσταση		8.0	29.0	17.8	20.7	75.5
Αντικατάσταση λαμπτήρων	Κατανάλωση (kWh/m ² /yr)	8.9	27.8	9.4	20.7	66.8
	Εξοικονόμηση ενέργειας	-11.3%	4.1%	47.2%	0	11.5%



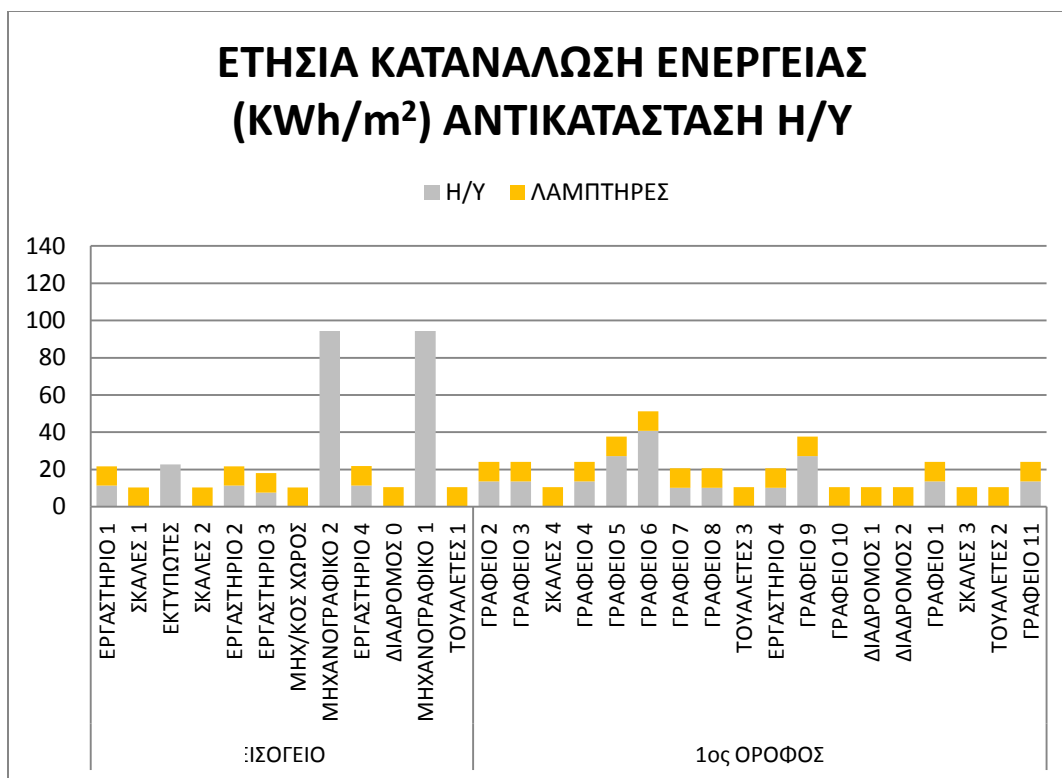
Διάγραμμα 4-5: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας από λαμπτήρες και H/Y μετά από αντικατάσταση λαμπτήρων

Αντικατάσταση υπολογιστών

Μία ακόμα αλλαγή που θα μπορούσε να εφαρμοστεί είναι η αντικατάσταση των τροφοδοτικών και των οθονών των υπολογιστών με άλλα που καταναλώνουν περίπου 30% λιγότερη ενέργεια κατά τη λειτουργία τους (δηλαδή αντί για υπολογιστές ισχύος 140 Watt τοποθετηθούν υπολογιστές ισχύος περίπου 100 Watt). Αυτή η αλλαγή από τη μία πλευρά επιφέρει 30% μείωση στην κατανάλωση ενέργειας από τους υπολογιστές και από την άλλη αυξάνει την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση κατά 5% και μειώνει την αντίστοιχη για ψύξη περίπου 4%. Όπως και στους λαμπτήρες, έτσι και στους υπολογιστές, η αντικατάστασή τους με νέους ενεργειακά αποδοτικότερους οδηγεί στην μείωση εκπομπής θερμότητας επιφέροντας ως αποτέλεσμα τη μικρή αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση και τη μικρή μείωση για ψύξη. Η συνολική μείωση κατανάλωσης ενέργειας που πετυχαίνεται είναι 9%.

Πίνακας 4-7: Εξοικονόμηση ενέργειας μετά από αντικατάσταση υπολογιστών

		Θέρμανση	Ψύξη	Λαμπτήρες	H/Y	Σύνολο
Αρχική κατάσταση		8.0	29.0	17.8	20.7	75.5
Αντικατάσταση υπολογιστών	Κατανάλωση (kWh/m ² /yr)	8.4	27.9	17.8	14.5	68.6
	Εξοικονόμηση ενέργειας	-5.0%	3.8%	0	30.0%	9.1%



Διάγραμμα 4-6: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας από λαμπτήρες και Η/Υ μετά από αντικατάσταση Η/Υ

Αθροιστικές αλλαγές στα εσωτερικά κέρδη του κτιρίου

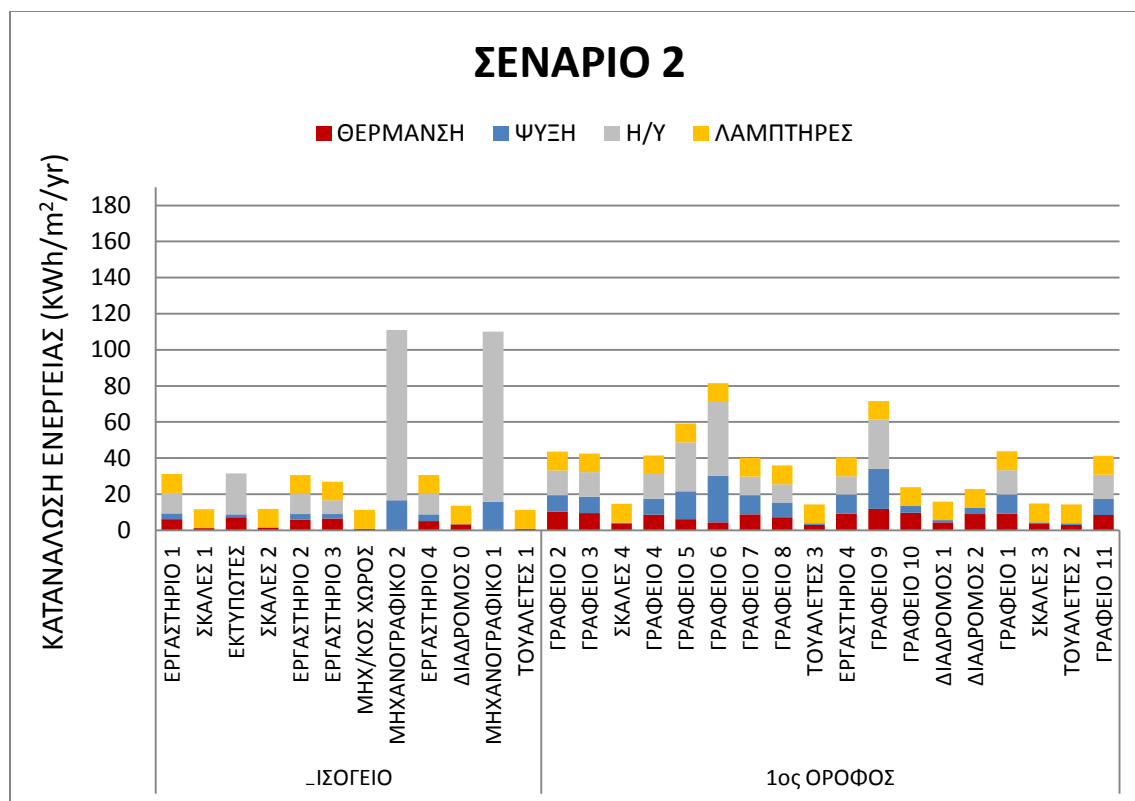
Αντικαθιστώντας τους λαμπτήρες που κατανάλωναν 19 W/m^2 με νέους που θα καταναλώνουν 10 W/m^2 και τους υπολογιστές με νέους που θα καταναλώνουν 30% λιγότερη ενέργεια, προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα (Πίνακας 4-8, Πίνακας 4-9, Διάγραμμα 4-7):

Πίνακας 4-8: Αλλαγές στα εσωτερικά κέρδη (Σενάριο 2)

	Λαμπτήρες (W/m^2)	Η/Υ (W)
Αρχική κατάσταση	19	140
Σενάριο 2	10	98

Πίνακας 4-9: Εξοικονόμηση ενέργειας Σεναρίου 2

Κατανάλωση ενέργειας κτιρίου ($\text{kWh/m}^2/\text{yr}$)	Αρχική κατάσταση	Σενάριο 2	Εξοικονόμηση
Θέρμανση	8.0	9.5	-18.8%
Ψύξη	29.0	26.0	10.3%
Λαμπτήρες	17.8	9.4	47.4%
Η/Υ	20.7	14.5	30.0%
Σύνολο	75.5	59.4	21.3%



Διάγραμμα 4-7: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας - Σενάριο 2

Ο Πίνακας 4-9 παρουσιάζει την συνολική εξοικονόμηση ενέργειας που πετυχαίνεται εφαρμόζοντας αλλαγές στα εσωτερικά κέρδη και το Διάγραμμα 4-7 δείχνει τη νέα κατανάλωση κάθε ζώνης. Αν και επιφέρεται 19% περίπου αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση, στην αντίστοιχη κατανάλωση για ψύξη και φωτισμού των χώρων καθώς και λειτουργίας υπολογιστών προκαλείται μείωση της κατανάλωσης κατά 10%, 47% και 30% αντίστοιχα. Συνυπολογίζοντας όλες τις αλλαγές στην κατανάλωση ενέργειας, η εξοικονόμηση υπολογίζεται ίση με 21,3%. Δηλαδή αν αντικατασταθούν οι λαμπτήρες και οι υπολογιστές το κτίριο θα απαιτεί περίπου 20% λιγότερη ενέργεια για τη λειτουργία του.

4.3 ΣΕΝΑΡΙΟ 3: ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Αλλαγή ρύθμισης του θερμοστάτη σε κοινόχρηστους χώρους

Η ρύθμιση του θερμοστάτη έχει οριστεί με τέτοιο τρόπο ώστε το χειμώνα να μην πέφτει η θερμοκρασία κάτω από τους 20°C και το καλοκαίρι να μην υπερβαίνει τους 26°C, όταν το κτίριο βρίσκεται σε ώρες λειτουργίας (τις υπόλοιπες ώρες ο θερμοστάτης δε λειτουργεί). Η ρύθμιση αυτή εφαρμόστηκε σε όλο το κτίριο συμπεριλαμβανομένων των γραφείων, των εργαστηρίων, των μηχανογραφικών κέντρων, των διαδρόμων και των χώρων υγιεινής.

Ωστόσο, στους κοινόχρηστους χώρους (διαδρόμους και χώρους υγιεινής), ο θερμοστάτης θα μπορούσε να ρυθμιστεί στους 17°C το χειμώνα και στους 28°C το καλοκαίρι χωρίς να υποβαθμίζονται οι συνθήκες άνεσης των εργαζόμενων καθώς η παραμονή τους σε αυτούς τους χώρους είναι για λίγη μόνο ώρα. Αυτή η αλλαγή εφαρμόστηκε και στο γραφείο 10, το οποίο δεν χρησιμοποιείται ως χώρος εργασίας αφού είναι περίπου 4 m² αλλά ως χώρος τοποθέτησης ενός εκτυπωτικού μηχανήματος.

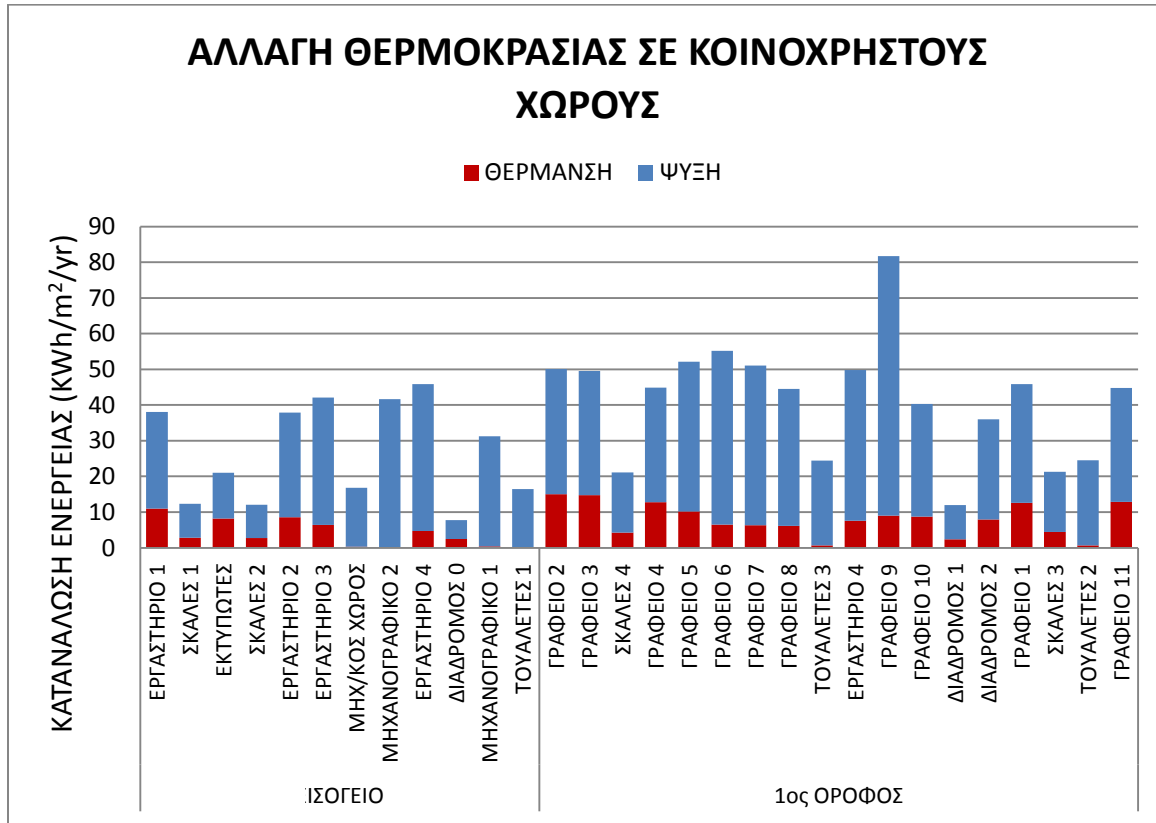
Τα ετήσια συνολικά φορτία που προκύπτουν εφαρμόζοντας την παραπάνω ρύθμιση μειώνονται κατά 7% σε σχέση με την αρχική κατάσταση (Πίνακας 4-10). Ένας από τους πιθανούς λόγους στους οποίους οφείλεται η μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας στη θέρμανση από ότι στην ψύξη είναι το γεγονός ότι μειώθηκε η απαιτούμενη θερμοκρασία για θέρμανση το χειμώνα κατά 3°C (από 20 °C σε 17 °C), ενώ το καλοκαίρι αυξήθηκε κατά 2 °C (από 26 °C σε 28 °C). Ο κύριος, όμως, λόγος που παρατηρείται αυτή η διαφοροποίηση είναι ότι στους κοινόχρηστους χώρους δεν υπάρχουν εσωτερικά κέρδη από υπολογιστές και ανθρώπους που να εργάζονται εκεί, οπότε αυτή η θερμότητα πρέπει να καλυφθεί από το σύστημα θέρμανσης.

Πίνακας 4-10: Εξοικονόμηση με ρύθμιση θερμοστάτη σε κοινόχρηστους χώρους

		Θέρμανση	Ψύξη	Λαμπτήρες	H/Y	Σύνολο
Αρχική κατάσταση		8.0	29.0	17.8	20.7	75.5
Αλλαγή στη θέρμανση κ ψύξη	Κατανάλωση (kWh/m ² /yr)	5.4	26.5	17.8	20.7	70.4
	Εξοικονόμηση ενέργειας	32.5%	8.6%	0	0	6.8%

Στο Διάγραμμα 4-8 απεικονίζεται η ετήσια κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη για κάθε θερμική ζώνη. Συγκρίνοντας αυτό το διάγραμμα με το αντίστοιχο της αρχικής κατάστασης του κτιρίου (Διάγραμμα 3-2), όπως ήταν αναμενόμενο οι μεγαλύτερες αλλαγές εντοπίζονται στους χώρους υγιεινής, στους διαδρόμους και στο

γραφείο 10. Ωστόσο στις υπόλοιπες ζώνες που συνορεύουν με αυτούς τους χώρους, οι απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη αυξήθηκαν διότι αυξάνοντας τη διαφορά θερμοκρασίας αυξάνεται και η μεταφορά θερμότητας.



Διάγραμμα 4-8: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας για ψύξη και θέρμανση μετά από αλλαγή θερμοκρασίας στους κοινόχρηστους χώρους

Αλλαγή της ποσότητας παροχής νωπού αέρα

Οι απαιτήσεις παροχής νωπού αέρα για γραφεία σύμφωνα με τον πίνακα 2.3 «Απαιτήσεις Αερισμού» της TOTEE 2425/86 ορίζονται στα 30 m³/h/άτομο δηλαδή στα 8.3 L/s/άτομο. Η ρύθμιση των αρχικών τιμών παροχής νωπού αέρα (Πίνακας 3-6) μπορεί να μειωθεί και να λάβει τις παρακάτω τιμές (Πίνακας 4-11), έτσι ώστε να μειωθούν οι ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου.

Πίνακας 4-11: Απαιτούμενη παροχή νωπού αέρα

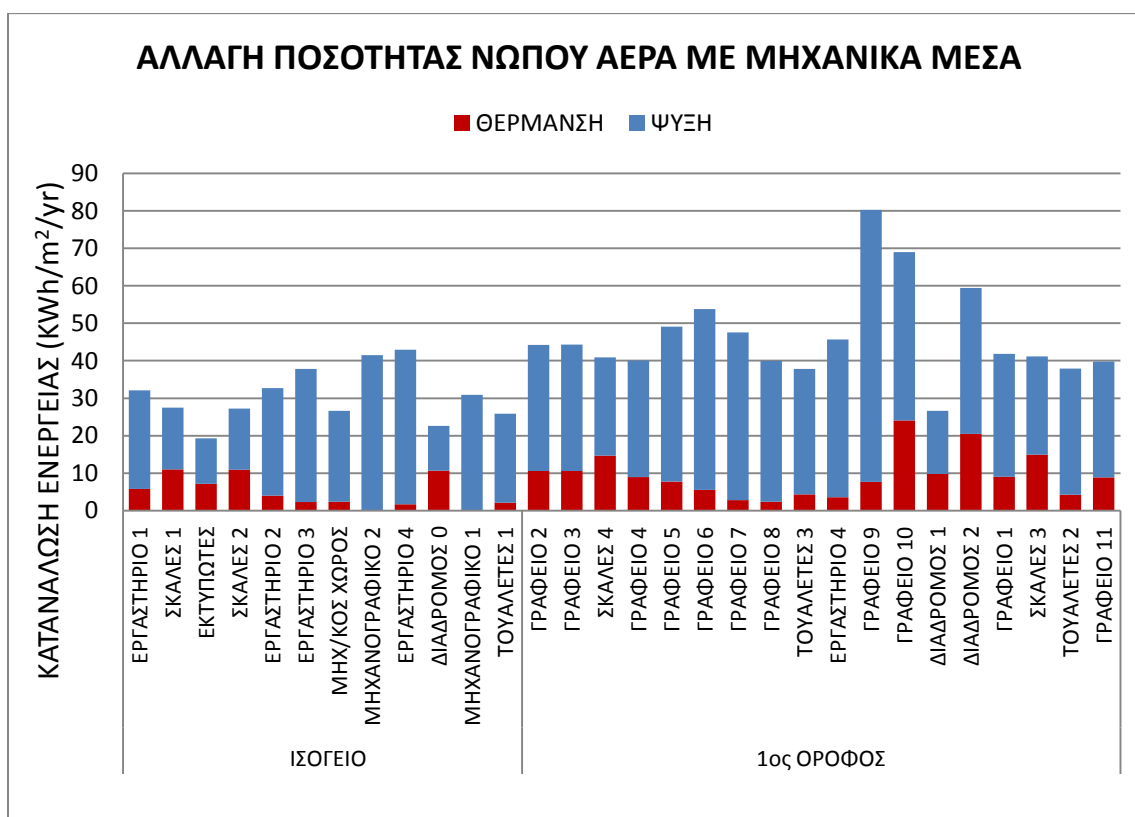
ΧΩΡΟΙ	Απαιτούμενη παροχή νωπού αέρα / άτομο	
	L/s	Kg/h
ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ 0	139	600.5
ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ 1	125	540
ΕΚΤΥΠΩΤΕΣ	17	73.4
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 1	33.2	143.4
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 2	33.2	143.4
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 3	16.6	71.7
ΓΡΑΦΕΙΟ 7	24.9	107.6
ΓΡΑΦΕΙΟ 8	24.9	107.6
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 4	24.9	107.6
ΓΡΑΦΕΙΟ 1	41.5	179,3
ΓΡΑΦΕΙΟ 11	16.6	71.7
ΓΡΑΦΕΙΟ 4	16.6	71.7
ΜΗΧΑΝΟΓΡΑΦΙΚΟ 2	66.4	286.8
ΜΗΧΑΝΟΓΡΑΦΙΚΟ 1	66.4	286.8
ΓΡΑΦΕΙΟ 2	8.3	35.8
ΓΡΑΦΕΙΟ 3	8.3	35.8
ΓΡΑΦΕΙΟ 5	16.6	71.7
ΓΡΑΦΕΙΟ 6	24.9	107.6
ΓΡΑΦΕΙΟ 9	16.6	71.7
ΓΡΑΦΕΙΟ 10	0	0
ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ 2		
ΤΟΥΑΛΕΤΕΣ		
ΣΚΑΛΕΣ		
ΜΗΧ/ΚΟΣ ΧΩΡΟΣ		

Τα ετήσια συνολικά φορτία που προκύπτουν εφαρμόζοντας την παραπάνω ρύθμιση μειώνονται κατά 2% σε σχέση με την αρχική κατάσταση (Πίνακας 4-12) με την περισσότερη μείωση να εντοπίζεται στη θέρμανση καθώς η κατανάλωση για ψύξη μένει περίπου η ίδια. Μειώνοντας την προσφορά νωπού αέρα ανά άτομο μειώνεται η ποσότητα φρέσκου αέρα που πρέπει να θερμανθεί πριν μπει στο κτίριο οπότε μειώνεται και η κατανάλωση ενέργειας. Τους θερινούς μήνες, όμως δεν υπάρχει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας καθώς υπάρχουν θερμοκρασίες περιβάλλοντος κοντά ή ακόμα και κάτω από τις απαιτούμενες τιμές κάποιες ώρες της ημέρας (για παράδειγμα τις πρωινές ώρες) οπότε δεν απαιτείται να ψυχθεί ο ερχόμενος αέρας (αφού είναι ίσης ή χαμηλότερης θερμοκρασίας από την επιθυμητή). Μειώνοντας, λοιπόν, την εισροή του αέρα, χάνεται η "δροσιά" που προσφέρεται στον χώρο και θα απαιτείται επιπλέον ενέργεια (για να καλυφθεί η θερμοκρασιακή διαφορά) η οποία αποσβήνει το κέρδος ενέργειας από την μειωμένη εισροή θερμού αέρα των μεσημεριανών ωρών.

Πίνακας 4-12: Εξοικονόμηση ενέργειας μετά από αλλαγή στον αερισμό

		Θέρμανση	Ψύξη	Λαμπτήρες	Η/Υ	Σύνολο
Αρχική κατάσταση		8.0	29.0	17.8	20.7	75.5
Αλλαγή στον αερισμό	Κατανάλωση (kWh/m ² /yr)	6.2	29.4	17.8	20.7	74.1
	Εξοικονόμηση ενέργειας	22.5%	-1.4%	0	0	1.9%

Συγκρίνοντας το Διάγραμμα 4-9 με το αντίστοιχο της αρχικής κατάστασης (Διάγραμμα 3-2) παρατηρούμε ελάχιστη μείωση σχεδόν σε όλες τις θερμικές ζώνες.



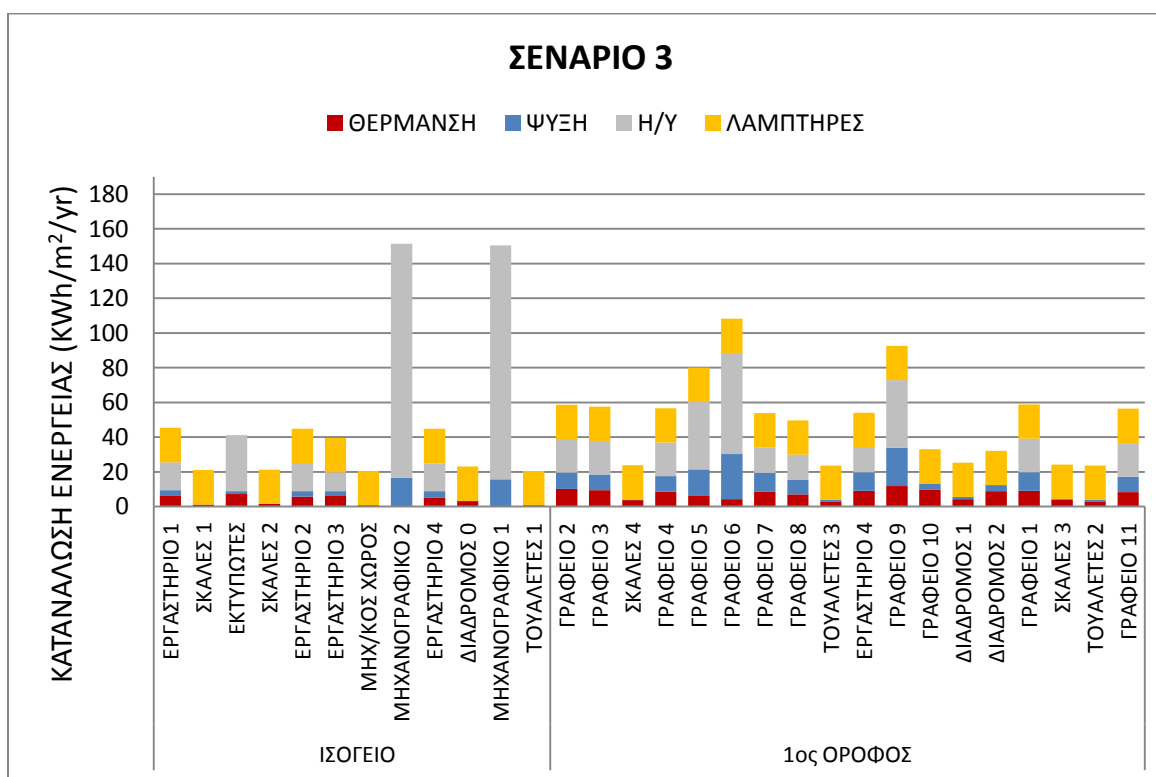
Διάγραμμα 4-9: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας για ψύξη και θέρμανση μετά από αλλαγή στον αερισμό

Αθροιστικές αλλαγές στο σύστημα λειτουργίας του κτιρίου

Αλλάζοντας τη ρύθμιση του θερμοστάτη στους κοινόχρηστους χώρους και μειώνοντας σε κανονικά επίπεδα την ποσότητα νωπού αέρα που απαιτείται ανά άτομο, προκύπτει εξοικονόμηση περίπου 9%. Η μεγαλύτερη αλλαγή εντοπίζεται στην κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση η οποία μειώνεται στο μισό ενώ η κατανάλωση ενέργειας για την ψύξη του κτιρίου μειώνεται κατά 10%. Ο Πίνακας 4-13 και το Διάγραμμα 4-10 παρουσιάζουν μία πιο αναλυτική εικόνα της ενεργειακής κατανάλωσης που πετυχαίνει αυτή η αλλαγή.

Πίνακας 4-13: Εξοικονόμηση ενέργειας Σεναρίου 3

Κατανάλωση ενέργειας (kWh/m ² /yr)	Αρχική κατάσταση	Σενάριο 3	Εξοικονόμηση
Θέρμανση	8.0	4.0	50.0%
Ψύξη	29.0	26.0	10.3%
Λαμπτήρες	17.8	17.8	0
Η/Υ	20.7	20.7	0
Σύνολο	75.5	68.5	9.3%



Διάγραμμα 4-10: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας – Σενάριο 3

4.4 ΣΕΝΑΡΙΟ 4: ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΣΕΝΑΡΙΩΝ 1,2 ΚΑΙ 3

Στο σενάριο αυτό εξετάζεται η περίπτωση συνδυασμού όλων των αλλαγών (Πίνακας 4-14) έτσι ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας στο κτίριο. Πιο συγκεκριμένα, αλλάζοντας χαρακτηριστικά στο κέλυφος του κτιρίου (§4.1), μειώνοντας τα εσωτερικά κέρδη (§4.2) και ρυθμίζοντας καλύτερα το σύστημα λειτουργίας του κτιρίου (§4.3) προκύπτει εξοικονόμηση ενέργειας 55%. Πιο συγκεκριμένα (Πίνακας 4-15), η μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας πετυχαίνεται από την ψύξη, στη συνέχεια από το φωτισμό, από τη θέρμανση και τέλος από τους υπολογιστές.

Πίνακας 4-14: Αλλαγές σεναρίου 4

		Τοίχοι	Οροφή	Υαλοπίνακες	Λαμπτήρες (W/m ²)	H/Y (W)	Θέρμανση (κοιν. χώρους) (°C)	Ψύξη (κοιν. χώροι) (°C)	Αερισμός (L/s/person)
Αρχικό	Μόνωση (cm)	3	2	-	19	140	20	26	20
	Συνολικό U-value (W/m ² /K)	0.915	1.449	2,83					
	g-value (%/100)	-	-	0,755					
	Αντανάκλαση ηλ. ακτινοβολίας (%)	10	-	-					
Σενάριο 4	Μόνωση (cm)	5	3	-	10	98	17	28	8.3
	Συνολικό U-value (W/m ² /K)	0.436	0.671	1,04					
	g-value (%/100)	-	-	0,227					
	Αντανάκλαση ηλ. ακτινοβολίας (%)	89	-	-					

Πίνακας 4-15: Κατανάλωση και εξοικονόμηση ενέργειας Σεναρίου 4

Κατανάλωση ενέργειας (kWh/m ² /yr)	Αρχική κατάσταση	Σενάριο 4	Εξοικονόμηση ενέργειας
Θέρμανση	8.0	5.0	37.5%
Ψύξη	29.0	5.0	82.8%
Λαμπτήρες	17.8	9.4	47.3%
H/Y	20.7	14.5	30.10%
Σύνολο	75.5	33.9	55.2%

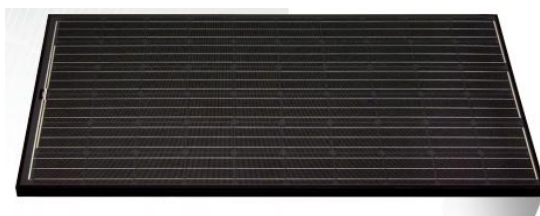
5 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Αν και μειώθηκαν κατά πολύ (σχεδόν στο μισό) οι ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου, παραμένει ακόμα ένα μεγάλο ποσό ενέργειας που χρειάζεται για να λειτουργήσει. Αυτό το ποσό ενέργειας πρέπει να παράγεται κατά τη διάρκεια ενός έτους από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) για να θεωρηθεί το κτίριο μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης. Πρέπει να τονιστεί ότι οι ΑΠΕ δε θα εγκατασταθούν με σκοπό να γίνει το κτίριο αυτόνομο (ότι παράγει να καταναλώνει), αλλά με σκοπό να συνδεθούν στο δίκτυο έτσι ώστε η ενέργεια που πωλείται να είναι ίση με την ενέργεια που αγοράζεται. Αυτό εξασφαλίζει στο κτίριο σταθερότητα καθώς τις μέρες που οι ΑΠΕ δεν αποδίδουν λόγω μη ευνοϊκών καιρικών συνθηκών το ρεύμα θα αγοράζεται από το κεντρικό δίκτυο και τις μέρες που παράγουν μεγάλα ποσά ενέργειας θα πουλάνε ενέργεια στο δίκτυο. Η προσομοίωση αυτή γίνεται στο λογισμικό HOMER.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η περίπτωση προσθήκης φωτοβολταϊκού συστήματος και ανεμογεννητριών. Στην παράγραφο §5.1 θα παρουσιαστεί το Σενάριο 5 που παρουσιάζει την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος, στην §5.2 θα αναλυθεί το Σενάριο 6 που παρουσιάζει την εγκατάσταση μικρών ανεμογεννητριών και στην §5.3 θα παρουσιαστεί το Σενάριο 7 το οποίο είναι ο συνδυασμός των 6 και 5.

5.1 ΣΕΝΑΡΙΟ 5: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

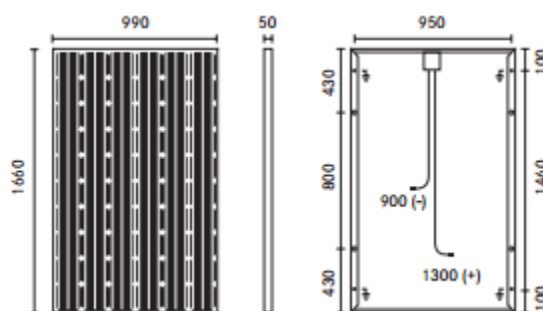
Μελετήθηκε το σενάριο εγκατάστασης μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών πλαισίων με το κάθε πλαίσιο (Εικόνα 5-1) να έχει τα εξής χαρακτηριστικά (Πίνακας 5-1, Εικόνα 5-2):



Εικόνα 5-1: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Πίνακας 5-1: Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών

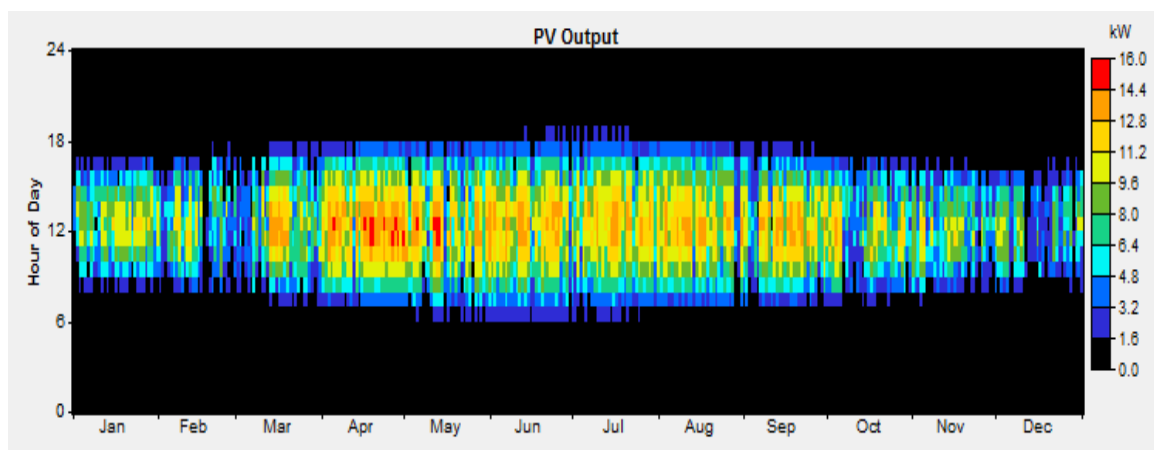
Ηλεκτρικά δεδομένα (STC)	
Ονομαστική ισχύς P_{MPP} (W)	265
Τάση στη μέγιστη ισχύ V_{MPP} (V)	331,4
Ένταση στη μέγιστη ισχύ I_{MPP} (A)	8,44
Τάση ανοιχτοκύκλωσης V_{OC} (V)	38,3
Ένταση βραχυκύκλωσης I_{SC} (A)	8,91
Απόδοση (%)	16,1
Μήκος x Πλάτος x Βάθος (mm)	1660*990*50
Βάρος (kg)	20
Απόδοση (%)	16.1
Αριθμός Φ/Β στοιχείων	60



Εικόνα 5-2: Διαστάσεις Φ/Β πλαισίου

Στην προσομοίωση που έγινε στο HOMER, τοποθετήθηκαν 76 φωτοβολταϊκά πλαίσια στην οροφή του κτιρίου με προσανατολισμό στο νότο με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 20 kW. Επιπλέον δόθηκαν τα επιμέρους χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών πλαισίων καθώς και τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής. Η κλίση που ενδείκνυται για την Κρήτη είναι $35^{\circ} \pm 15^{\circ}$, ωστόσο τα φωτοβολταϊκά πλαίσια στο υπό μελέτη κτίριο τοποθετήθηκαν με κλίση 20° έτσι ώστε να δημιουργούν το μικρότερο δυνατό πρόβλημα στις ανεμογεννήτριες αλλά και στο θέμα της όχλησης πετυχαίνοντας τη βέλτιστη ενσωμάτωση στο κτίριο.

Η ενέργεια που καταναλώνει το κτίριο μετά τις βελτιώσεις που εφαρμόστηκαν (Σενάριο 4), είναι 44000 kWh/yr. Το φωτοβολταϊκό σύστημα που δοκιμάστηκε παράγει περίπου 24000 kWh/yr καλύπτοντας σχεδόν το 54% της συνολικής απαιτούμενης ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα στο Διάγραμμα 5-1 φαίνεται η ενέργεια που παράγει το φωτοβολταϊκό σύστημα κατά τη διάρκεια του έτους.



Διάγραμμα 5-1: Παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκού συστήματος

Παρατηρώντας το Διάγραμμα 5-1 βγαίνει το συμπέρασμα ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα δίνει την περισσότερη ενέργεια τους μήνες Μάρτιο με Σεπτέμβριο. Τη μέγιστη ενέργεια την αποδίδει κυρίως το μήνα Απρίλιο και αυτό πολύ πιθανόν να εξηγείται με το γεγονός ότι αυτόν το μήνα η ηλιοφάνεια είναι αρκετά έντονη (Διάγραμμα 1-1) και η θερμοκρασία περιβάλλοντος όχι και τόσο υψηλή (Διάγραμμα 1-2), επομένως τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποδίδουν το μέγιστο δυνατό.

5.2 ΣΕΝΑΡΙΟ 6: ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

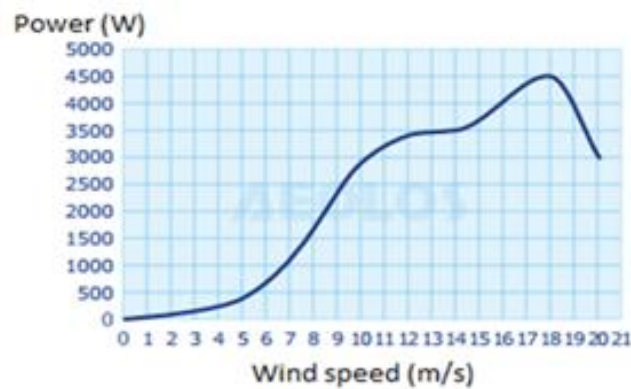
Το υπόλοιπο ποσό ενέργειας που απαιτείται από το κτίριο για να καλύψει τις λειτουργίες του θα παραχθεί από 4 ανεμογεννήτριες οροφής κατακόρυφου άξονα. Η κάθε ανεμογεννήτρια οροφής (Εικόνα 5-3) είναι ονομαστικής ισχύος 3 kW και χαρακτηρίζεται από τις τιμές που αναγράφει ο Πίνακας 5-2 και από την καμπύλη που φαίνεται στο Διάγραμμα 5-2.



Εικόνα 5-3: Ανεμογεννήτρια οροφής

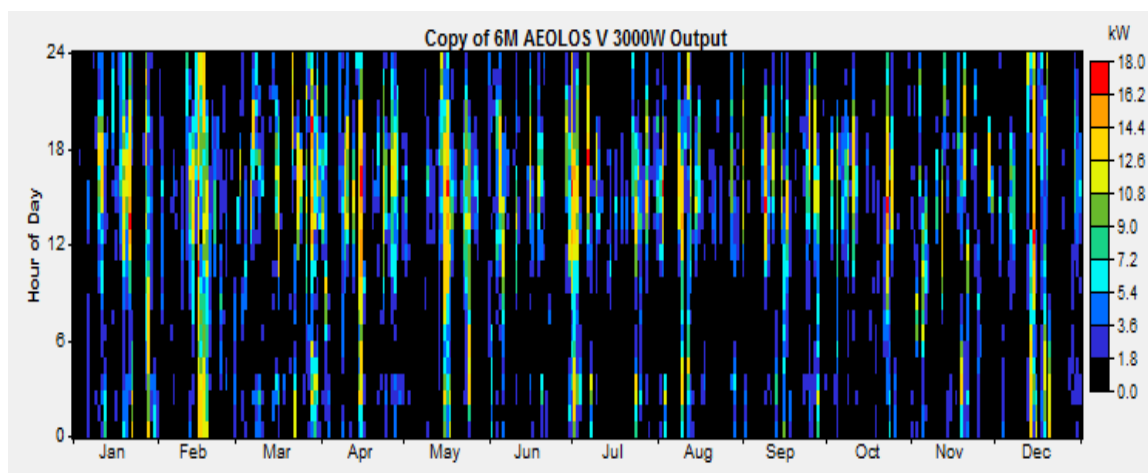
Πίνακας 5-2: Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας

Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας	
Ονομαστική ισχύς (kW)	3
Τάση εξόδου (V)	120/220
Διάμετρος πτερυγίου (m)	3.6
Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας (m/s)	1.5
Ταχύτητα αποσύνδεσης (m/s)	18
Απόδοση γεννήτριας	>0.96
Βάρος (kg)	45
Θόρυβος (db(A))	40@5m/s
Εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας (°C)	-20 με -50



Διάγραμμα 5-2: Παραγόμενη ισχύς ανεμογεννήτριας συναρτήσει της ταχύτητας ανέμου

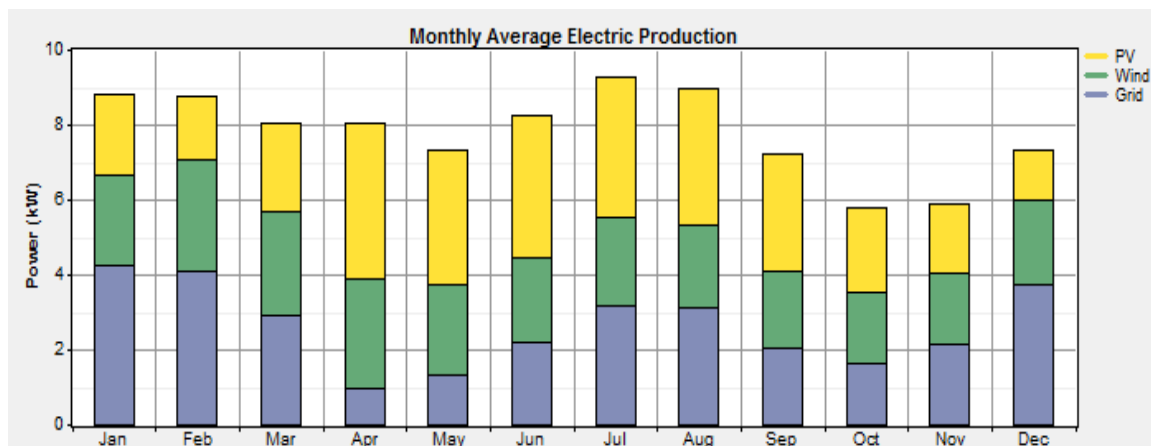
Αυτές οι 4 ανεμογεννήτριες θα παράγουν περίπου 20000 kWh/yr καλύπτοντας το υπόλοιπο 46 % της υπολειπόμενης απαιτούμενης ενέργειας. Πιο αναλυτικά φαίνεται στο Διάγραμμα 5-3 η ωριαία παραγόμενη ισχύς των ανεμογεννητριών κατά τη διάρκεια ενός έτους. Ένα γενικό συμπέρασμα που βγαίνει είναι ότι οι ανεμογεννήτριες παράγουν παρόμοια ποσά ενέργειας κατά τη διάρκεια του έτους και αυτό πιθανόν να εξηγείται από το ότι οι άνεμοι στην περιοχή δεν έχουν μεγάλες μεταβολές. Παρατηρείται μία μικρή άνοδος της παραγόμενης ενέργειας τους μήνες Δεκέμβριο, Φεβρουάριο και Απρίλιο. Αυτή η αύξηση στην παραγωγή ενέργειας τους συγκεκριμένους μήνες δικαιολογείται παρατηρώντας το Διάγραμμα 1-3, όπου φαίνεται ότι η ταχύτητα του ανέμου είναι αυξημένη αυτούς τους μήνες.



Διάγραμμα 5-3: Ωριαία παραγόμενη ισχύς ανεμογεννητριών

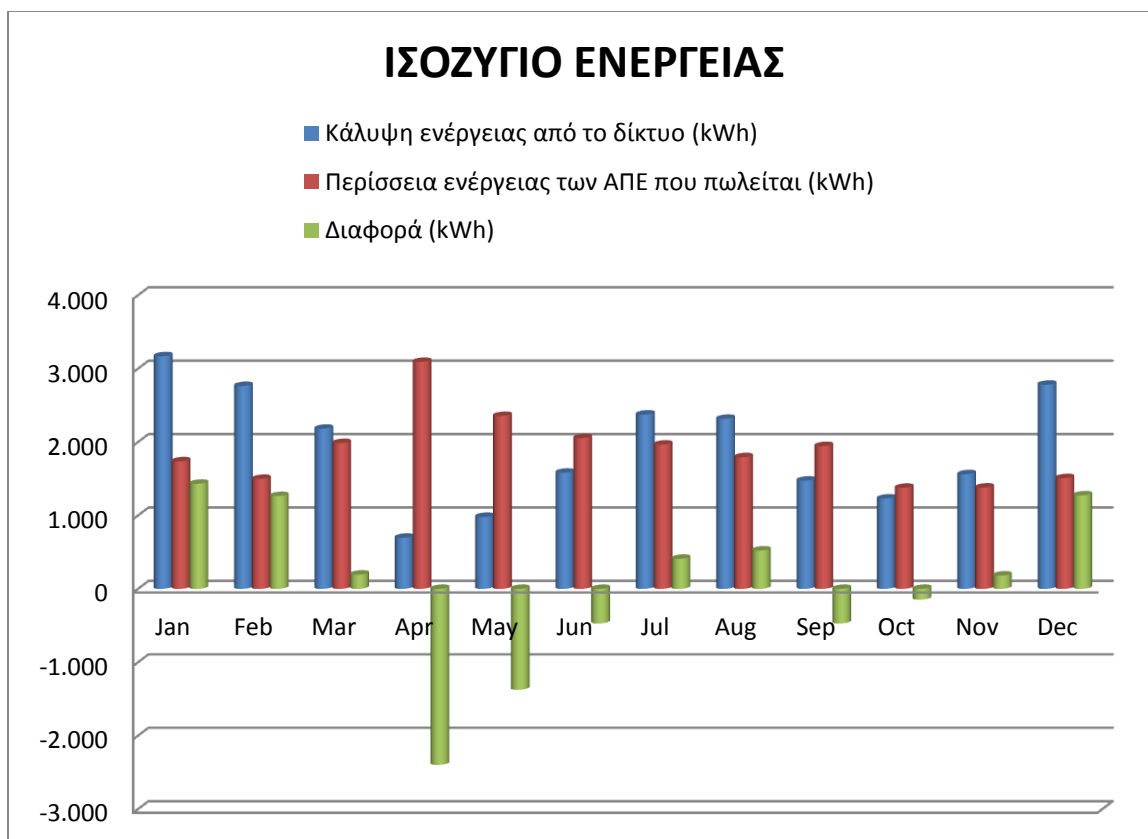
5.3 ΣΕΝΑΡΙΟ 7: ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΣΕΝΑΡΙΩΝ 5 ΚΑΙ 6

Εξετάζοντας την περίπτωση που δουλεύει το φωτοβολταϊκό σύστημα παράλληλα με τις ανεμογεννήτριες, η ενέργεια που παράγεται είναι σχεδόν 44000 kWh/yr, δηλαδή όση χρειάζεται το κτίριο για να καλύψει τις μειωμένες απαιτήσεις του. Σε αυτήν την περίπτωση το κτίριο μετατρέπεται σε κτίριο μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης. Ωστόσο, επειδή οι ΑΠΕ δε δουλεύουν συνεχόμενα λόγω της μεταβολής των καιρικών συνθηκών, το κτίριο πρέπει να αγοράζει ένα ποσό ενέργειας από το δίκτυο κ έπειτα όταν αυτό παράγεται από τις ΑΠΕ να το πουλάει πίσω. Αυτό το ποσό ενέργειας υπολογίστηκε ότι είναι 23000 kWh/yr. Πιο συγκεκριμένα στο Διάγραμμα 5-4 φαίνεται το ποσό ενέργειας που καλύπτεται ή παράγεται μηνιαίως από κάθε πηγή (δίκτυο, φωτοβολταϊκό σύστημα και ανεμογεννήτριες).



Διάγραμμα 5-4: Μηνιαία κάλυψη ενεργειακών αναγκών του κτιρίου από τις διάφορες πηγές

Στο Διάγραμμα 5-4 φαίνεται η μέση μηνιαία ποσότητα ισχύος που παράγεται από το σύστημα ΑΠΕ (φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες) και η αντίστοιχη ισχύς που παρέχεται από το δίκτυο. Από το ίδιο διάγραμμα συμπεραίνεται ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα παράγει την περισσότερη ποσότητα ενέργειας τους μήνες Απρίλιο με Σεπτέμβριο καθώς αυτούς τους μήνες η ηλιοφάνεια είναι αρκετά αυξημένη (Διάγραμμα 1-2). Οι ανεμογεννήτριες φαίνεται να παράγουν σχεδόν σταθερή ποσότητα ενέργειας μηνιαία παρουσιάζοντας μικρή άνοδο τους μήνες Φεβρουάριο, Μάρτιο και Απρίλιο καθώς αυτούς τους μήνες οι άνεμοι είναι ισχυρότεροι (Διάγραμμα 1-3). Μεγάλη διαφοροποίηση υπάρχει το μήνα Απρίλιο όπου τόσο το φωτοβολταϊκό σύστημα όσο και οι ανεμογεννήτριες παράγουν μεγάλα ποσά ενέργειας επιφέροντας ως αποτέλεσμα την αγορά μόνο μικρής ποσότητας ρεύματος από το δίκτυο.



Διάγραμμα 5-5: Ισοζύγιο ενέργειας – αλληλεπίδραση με δίκτυο

Στο Διάγραμμα 5-5 φαίνεται με μπλε χρώμα η ενέργεια που πρέπει να δίνει το δίκτυο μηνιαίως για να καλυφθούν οι ανάγκες του. Με κόκκινο χρώμα φαίνεται η ενέργεια του συστήματος ΑΠΕ που δε χρησιμοποιείται απευθείας στο κτίριο για κάλυψη αναγκών του αλλά διοχετεύεται στο δίκτυο τις χρονικές στιγμές που το σύστημα ΑΠΕ παράγει περισσότερο από ότι καταναλώνει το κτίριο. Με πράσινο χρώμα είναι η διαφορά αυτών των δύο ενεργειών. Δηλαδή οι θετικές πράσινες τιμές είναι η επιπλέον ενέργεια που απαιτείται και οι αρνητικές η επιπλέον ενέργεια που παράγεται και δίνεται στο δίκτυο. Το άθροισμα των διαφορών είναι σχεδόν μηδέν οπότε και το κτίριο θεωρείται Κτίριο Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

Συγκρίνοντας τα σενάρια 1-4 μόνο ως προς την ενεργειακή τους απόδοση και όχι ως προς το κόστος εφαρμογής τους, αποδοτικότερο αποδεικνύεται το Σενάριο 4 το οποίο συνδυάζει τα τρία πρώτα δίνοντας ενεργειακή εξοικονόμηση 55%. Ήταν αναμενόμενο να αποδειχθεί το αποδοτικότερο σενάριο καθώς όλα τα σενάρια που συνδυαζόταν σε αυτό προκαλούσαν μείωση στην ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου.

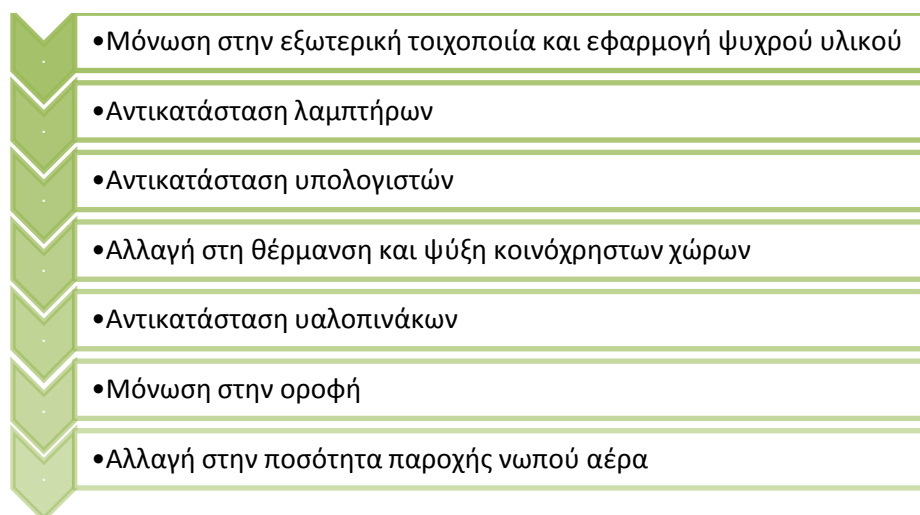
Από τα τρία πρώτα σενάρια, το Σενάριο 1, σύμφωνα με το οποίο εφαρμόστηκαν αλλαγές στο κέλυφος του κτιρίου, αποδείχθηκε το ενεργειακά αποδοτικότερο. Αυτό επιτεύχθηκε διότι εφαρμόζοντας τις αλλαγές του Σεναρίου 1 μειώθηκε η κατανάλωση ενέργειας για ψύξη, η οποία είναι η κύρια πηγή κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου, κατά 70% περίπου. Το Σενάριο 3 διαπιστώνεται ότι είναι το λιγότερα αποδοτικό καθώς πέτυχε τη μικρότερη μείωση στην απαιτούμενη ενέργεια (9%).

Ο Πίνακας 6-1 παρουσιάζει συνοπτικά την κατανάλωση και την εξοικονόμηση ενέργειας όλων των σεναρίων.

Πίνακας 6-1: Κατανάλωση κ εξοικονόμηση ενέργειας όλων των σεναρίων

Κατανάλωση ενέργειας (kWh/m ²)	Αρχική κατάσταση	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3	Σενάριο 4
Θέρμανση	8,0	8,0	9,5	4,0	5,0
Ψύξη	29,0	9,0	26,0	26,0	5,0
Λαμπτήρες	17,8	17,8	9,4	17,8	9,4
Υπολογιστές	20,7	20,7	14,5	20,7	14,5
Σύνολο	75,5	55,5	59,4	68,5	33,9
Εξοικονόμηση ενέργειας (%)		26%	21%	9%	55%

Συνοψίζοντας, αναφέρονται παρακάτω (Διάγραμμα 6-1) τα επιμέρους μέτρα ενεργειακής εξοικονόμησης με φθίνουσα ταξινόμηση όσον αφορά τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας που επιφέρουν στο κτίριο.



Διάγραμμα 6-1: Φθίνουσα ταξινόμηση των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας ως προς την ενεργειακή τους απόδοση

Όσον αφορά τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, συμπεραίνεται ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα παράγει 4000 kWh περισσότερη ενέργεια από ότι οι ανεμογεννήτριες (24000 kWh και 20000 kWh αντίστοιχα). Ωστόσο, η παραγωγή ενέργειας από τις ΑΠΕ που εφαρμόστηκαν, είναι ίδια με την κατανάλωση ενέργειας που απαιτεί το κτίριο. Συμπερασματικά, εφαρμόζοντας το **καλύτερο δυνατό σενάριο** (μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας σε συνδυασμό με ΑΠΕ) πετυχαίνεται η μετατροπή του υπάρχοντος κτιρίου σε **Κτίριο Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης**.

Ωστόσο, στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής εργασίας μελετήθηκαν συγκεκριμένοι τομείς βελτίωσης και κάλυψης της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου. Πολλές είναι οι προτάσεις για περαιτέρω μελέτη που θα έδιναν σφαιρικότερη εικόνα για τον τρόπο μετατροπής του υπάρχοντος κτιρίου σε Κτίριο Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης. Κάποιες από αυτές παρουσιάζονται παρακάτω:

- Ανάλυση κόστους εφαρμογής και κόστους αποπληρωμής των σεναρίων που αναφέρθηκαν έτσι ώστε να διαμορφωθεί σφαιρική άποψη όσον αφορά τη βέλτιστη επιλογή σεναρίου.
- Μελέτη αποτελεσματικότητας εφαρμογής σκιάστρων στα ανοίγματα του κελύφους του κτιρίου.
- Μελέτη εγκατάστασης και άλλων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας εκτός από φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτριες, όπως γεωθερμική αντλία, και καυστήρες βιομάζας.
- Μελέτη βέλτιστης χωροθέτησης φωτοβολταϊκών πλαισίων και ανεμογεννητριών έτσι ώστε να πετυχαίνουν τη μέγιστη δυνατή απόδοση.
- Συνυπολογισμός κατανάλωσης ενέργειας για ζεστό νερό χρήσης (ηλιακοί θερμοσίφωνες).

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] A. Uihlein and P. Eder, “Policy options towards an energy efficient residential building stock in the EU-27,” *Energy and Buildings*, vol. 42, no. 6, pp. 791–798, Jun. 2010.
- [2] P. Rohdin, W. Glad, and J. Palm, “x Low-energy buildings – scientific trends and developments,” pp. 103–125, 2007.
- [3] D. H. W. Li, L. Yang, and J. C. Lam, “Zero energy buildings and sustainable development implications e A review,” *Energy*, vol. 54, pp. 1–10, 2013.
- [4] “Οδηγία 2010/31/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση κτιρίων,” *ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ ΤΗΣ 19ης Μαΐου 2010. Επίσημη εφημερίδα της Ε.Ε.*, pp. 13–35, 2010.
- [5] IEA, “Towards Net Zero Energy Solar Buildings – Fact sheet,” 2011.
- [6] B. Berggren, M. Wall, K. Flodberg, and E. Sandberg, “Net ZEB office in Sweden – A case study, testing the Swedish Net ZEB definition,” *International Journal of Sustainable Built Environment*, May 2013.
- [7] a. Boyano, P. Hernandez, and O. Wolf, “Energy demands and potential savings in European office buildings: Case studies based on EnergyPlus simulations,” *Energy and Buildings*, vol. 65, pp. 19–28, Oct. 2013.
- [8] P. Torcellini, S. Pless, and M. Deru, “Zero Energy Buildings : A Critical Look at the Definition Preprint,” 2006.
- [9] I. Sartori, A. Napolitano, and K. Voss, “Net zero energy buildings: A consistent definition framework,” *Energy and Buildings*, vol. 48, pp. 220–232, May 2012.
- [10] “Adam Joseph Lewis Center for Environmental Studies, Oberlin College.” .
- [11] “Zion National Park Visitor Center A Sustainable Building for the Future.” .
- [12] “Department of Environmental Protection Cambria Office Building Ebensburg, Pennsylvania.” .
- [13] “The Philip Merrill Environmental Center.” .
- [14] “National Renewable Energy Laboratory’s Thermal Test Facility Golden, Colorado.” .

- [15] “Science House at the Science Museum of Minnesota (Science House).” .
- [16] “ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ,” *Τ.Ε.Ι. ΧΑΛΚΙΔΑΣ Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Ηλεκτρολογίας*. [Online]. Available: <http://www.ee.teihal.gr/>. [Accessed: 31-Aug-2013].
- [17] ΘΕΟΧΑΡΗΣ ΤΣΟΥΤΣΟΣ, “ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ,” in *Σημειώσεις μαθήματος Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Σχολής Μηχανικών Περιβαλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης*, 2008.
- [18] ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΑΝΑΚΗΣ, “Σημειώσεις Εργαστηριακών Ασκήσεων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας,” 2012.
- [19] “ΜΙΚΡΕΣ ΑΝΕΜΟΦΕΝΝΗΤΡΙΕΣ, εφαρμογές στον οικιακό τομέα,” in *Ενεργειακό Γραφείο Κυπρίων Πολιτών*, 2010.
- [20] “Αιολική Ενέργεια και Ανεμογεννητρίες.” .
- [21] “ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΚΑΘΕΤΟΥ [ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ] ΑΞΟΝΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ.” .
- [22] Klein S.A. et al, *TRNSYS 17: A Transient System Simulation Program*. University of Wisconsin, Madison, USA: , 2012.
- [23] A. Kassam and F. Implementation, “HOMER Software Training Guide for Renewable Energy Base Station Design.”
- [24] “Wind & weather statistics Souda Bay/Chania Airport.” [Online]. Available: http://www.windfinder.com/windstats/windstatistic_souda.htm. [Accessed: 31-Aug-2013].
- [25] Ελενη ΠΡΟΒΑΤΑ, “Εξοικονόμηση Ενέργειας και Ποιότητα Εσωτερικού Περιβάλλοντος σε Κτίρια Γραφείων.” 2012.
- [26] G. P. Giatrakos, T. D. Tsoutsos, P. G. Mouchtaropoulos, G. D. Naxakis, and G. Stavrakakis, “Sustainable energy planning based on a stand-alone hybrid renewableenergy/hydrogen power system: Application in Karpathos island, Greece,” *Renewable Energy*, vol. 34, no. 12, pp. 2562–2570, Dec. 2009.
- [27] Πέρδιος Σταμάτης, “Οικονομική Ανάλυση Ενεργειακών Συστημάτων, Σημειώσεις Προπτυχιακού μαθήματος, Τμήμα Μηχανολογών Μηχανικών, Α.Π.Θ.,” 2005.
- [28] Ειδική Γραμματεία, Επιθεώρησης Περιβαλλοντος, Κ Α Ι Ενέργειας, Αναλυτικές Εθνικές, and Προδιαγραφές Παραμετρών, *Τεχνική οδηγία 1: Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την εκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης*. 2010, pp. 1–146.

- [29] D. Kolokotsa, C. Diakaki, S. Papantoniou, and A. Vlissidis, “Numerical and experimental analysis of cool roofs application on a laboratory building in Iraklion, Crete, Greece,” *Energy and Buildings*, vol. 55, pp. 85–93, Dec. 2012.