ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

<u>ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ</u>

«Ανάλυση και αποτίμηση της ενεργειακής και περιβαλλοντικής απόδοσης των διπλοκέλυφων προσόψεων στις κλιματικές συνθήκες της Κρήτης»

Παπαδάκη Νίκη

<u>Εξεταστική Επιτροπή:</u>

Επίκ. Καθηγήτρια Δ. Κολοκοτσά (επιβλέπουσα)

Αναπλ. Καθηγητής Θ. Τσούτσος

Καθηγητής Κ. Καλαϊτζάκης

Χανιά, Οκτώβριος 2011

Ευχαριστίες

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε στα πλαίσια ολοκλήρωσης των σπουδών μου για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στο Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης. Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω σε όσους συνετέλεσαν στην υλοποίησή της.

Θερμά θα ήθελα να ευχαριστήσω, την Επίκ. Καθηγήτρια του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος και επιβλέπουσα της παρούσας εργασίας, κ. Διονυσία Κολοκοτσά για την υποστήριξη και καθοδήγησή της, χωρίς την οποία δεν θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Καθοριστική ήταν η συμβολή του υποψήφιου Διδάκτορα Σωτήρη Παπαντωνίου, τον οποίο επιθυμώ θερμά να ευχαριστήσω για τις επιστημονικές παρατηρήσεις και την αμέριστη βοήθειά του καθ’ όλα τα στάδια εκπόνησης και συγγραφής της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω τον Αναπλ. Καθηγητή κ. Θεοχάρη Τσούτσο και Καθηγητή Κωνσταντίνο Καλαϊτζάκη για τον πολύτιμο χρόνο τους κατά την αξιολόγηση της παρούσας εργασίας.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ από καρδιάς θα ήθελα να εκφράσω στην οικογένειά μου και στους φίλους μου για την ηθική τους υποστήριξη και συμπαράσταση.

Στον λατρεμένο μου πατέρα Μηνά

Περίληψη

Το πρόβλημα της μεγάλης ενεργειακής κατανάλωσης στον κτηριακό τομέα καθιστά μεγάλη την ανάγκη για ενεργειακή εξοικονόμηση τόσο σε διεθνές όσο και Ευρωπαϊκό επίπεδο. Στο πλαίσιο αυτό, η Ευρωπαϊκή Ένωση χαράσσει μία περιβαλλοντική πολιτική στην οποία κυρίαρχο ρόλο διαδραματίζει η Οδηγία 2010/31/ΕΚ, μέσω της οποίας δημιουργείται ολοένα και εντονότερη η τάση για κτήρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης.

Η εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί στις χώρες της Νότιας Ευρώπης, όπου επικρατούν τα θερμά κλίματα και δημιουργούνται υψηλές ψυκτικές ανάγκες, είναι πρωτευούσης σημασίας.

Παράγοντας «κλειδί» σε αυτήν την κατεύθυνση αποτελεί ο βιοκλιματικός σχεδιασμός. Κάποιες από τις τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας με πολλαπλά περιβαλλοντικά οφέλη συνιστούν επεμβάσεις στον κτηριακό κέλυφος και μέτρα παθητικού δροσισμού, όπως ο αερισμός και η ηλιοπροστασία.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή πραγματοποιείται διερεύνηση καινοτόμων τεχνικών βελτίωσης ενεργειακής απόδοσης σε κτήριο του τριτογενούς τομέα. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε τόσο η υφιστάμενη κατάσταση όσο και τα εναλλακτικά μέτρα ενεργειακής βελτίωσης του κτηρίου Επιστημών του Πολυτεχνείου Κρήτης, ενός κτηρίου με ιδιαίτερα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά, με χρήση του υπολογιστικού πακέτου EnergyPlus.

Με γνώμονα την ενεργειακή και περιβαλλοντική βιωσιμότητα, μελετήθηκαν μέτρα βελτίωσης της συμπεριφοράς του κτηρίου που αφορούν στη νότια πρόσοψη του κτηρίου. Τα μέτρα βελτίωσης περιλαμβάνουν την εφαρμογή εξωτερικών προβόλων στα υαλοστάσια του κτηρίου καθώς και την εφαρμογή κατασκευής διπλού κελύφους στη νότια πρόσοψη του κτηρίου, μίας καινοτόμου για τα Ελληνικά δεδομένα κατασκευής.

Ως διπλοκέλυφη πρόσοψη ορίζεται μία συμβατική πρόσοψη μπροστά από την οποία προστίθεται άλλη μία πρόσοψη αποτελούμενη από εξωτερικά υαλοστάσια δημιουργώντας έτσι μία κοιλότητα κατάλληλων διαστάσεων.

Μελετήθηκαν διεξοδικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά της διπλοκέλυφης πρόσοψης και πιο συγκεκριμένα ο αερισμός και το σύστημα σκιασμού που ενδεχομένως να περιλαμβάνει. Μοντελοποιήθηκε η εν λόγω κατασκευή, η οποία σχεδιάστηκε με βέλτιστες παραμέτρους ούτως ώστε να είναι αποτελεσματική για ένα κτήριο σε θερμό κλίμα όπως το μελετούμενο, το οποίο ανήκει στην Α' κλιματική ζώνη της Ελλάδας.

Ως εκ τούτου, αποδείχθηκε ότι η διπλοκέλυφη κατασκευή συνδυασμένη με κατάλληλο αερισμό μπορεί να αποβεί αποδοτική είτε σε ανάγκες ψύξης είτε θέρμανσης. Ωστόσο, η ένταξη κινούμενου συστήματος σκίασης στην κατασκευή,

ιδίως εξωτερικού, αύξησε σημαντικά την απόδοσή της, προκαλώντας ενεργειακή εξοικονόμηση κατά 24%. Τέλος, η συμβατική επέμβαση σταθερών εξωτερικών σκιάστρων στο κτηριακό κέλυφος αποδεικνύεται άκρως αποδοτική και περιβαλλοντικά φιλική λύση, μειώνοντας κατά 14% τις συνολικές ετήσιες καταναλώσεις του κτηρίου ετησίως.

Συμπερασματικά, η παρούσα διατριβή συνεισφέρει στο πεδίο της έρευνας καθώς παρέχει καινοτόμες ενεργειακές βελτιώσεις που μπορούν να εφαρμοστούν σε υφιστάμενα κτήρια του Ελλαδικού χώρου, με ιδιόμορφη αρχιτεκτονική γεωμετρία.

Abstract

The problem of high energy consumption in the building sector, makes a great need for energy savings at both the international and European level. In this context, the European Union is developing an environmental policy in which the Directive 2010/31/EU plays the major role. Through this Directive occurred an increasingly intense trend for zero energy buildings.

The energy savings that can be achieved in the countries of southern Europe, where warm climates prevail and thus the cooling loads are high, is of primary importance.

Factor «key» in this direction is bioclimatic design. Some of the energy saving techniques with multiple environmental benefits constitute interventions in the building shell as well as passive cooling measures such as ventilation and sun protection.

The aim of this thesis is to investigate innovative techniques in order to improve energy efficiency in buildings of services sector. Specifically, both the existing situation and the alternative measures to improve a building of Technical University of Crete, were studied. The simulation of this building, which is characterized with distinctive architectural features, was accomplished through the computational package of EnergyPlus.

Driven by the energy and environmental sustainability, measures to improve the behavior of the building with interventions on the south facade of the building, were studied in detail. The improvement measures include the application of external glazing overhangs in the building and the application of double skin construction on the south facade of the building, an innovative for the Greek reality, construction.

Double Skin Façade is defined as a conventional façade in front of which is added another facade composed of external glazing creating a cavity of suitable dimensions.

The technical characteristics of the Double Skin Facade were investigated in detail and more specifically, the ventilation and the shading system that may include. The alternatives of construction were modeled, designed with optimal parameters in order to be effective for a building in a warm climate such as the studied one, belonging to the A' climatic zone of Greece.

Therefore, it proved that the Double Skin Facade combined with proper ventilation can be effective either in heating or cooling needs. However, the integration of the shading system in the construction, especially the external one, has increased its performance, resulting in total annual energy savings of 24%. Finally, the conventional intervention of fixed external blinds in the building shell proved to be a highly efficient and environmentally friendly solution, reducing by 14% the total annual consumption of the building.

In conclusion, this dissertation contributes to the field of research and provide innovative energy improvements that can be applied to existing buildings of Greece, characterized with unique architectural geometry.

Πίνακας Περιεχομένων

Ευρετήριο Εικόνων

Ευρετήριο Πινάκων

Ευρετήριο Σχημάτων

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή στη χρήση ενέργειας στο δομημένο περιβάλλον

Ο κτηριακός τομέας αντιπροσωπεύει περισσότερο από το 40% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας τόσο σε εθνικό όσο και Ευρωπαϊκό επίπεδο. Άμεση επίπτωση αυτού είναι η επιβάρυνση του περιβάλλοντος με ολοένα αυξανόμενα επίπεδα ρύπων και ιδίως εκπομπών του CO_2 με αποτέλεσμα την όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου (Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, Οδηγία 2002/91/ΕΚ, International Energy Agency, 2009).

Για το λόγο αυτό, τα τελευταία χρόνια, λόγω της υποβάθμισης του περιβάλλοντος κρίνεται απαραίτητη μία ορθολογική χρήση ενέργειας τόσο σε οικιακό όσο και βιομηχανικό τομέα, στα πλαίσια εξασφάλισης βιώσιμης ανάπτυξης. Έτσι δημιουργείται η ανάγκη υλοποίησης επεμβάσεων που στόχο έχουν την εξοικονόμηση ενέργειας συμβάλλοντας σε ένα περιβάλλον καθαρό εξασφαλίζοντας παράλληλα και την προστασία της δημόσιας υγείας.

1.2 Τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας στο δομημένο περιβάλλον

Πολλοί παράγοντες συνηγορούν στην εξεύρεση λύσεων για την ορθολογικότερη κατανάλωση ενέργειας στα κτήρια και την αξιοποίηση ήπιων μορφών ενέργειας με στόχο την εξασφάλιση ενεργειακής επάρκειας. Η οικονομική και τεχνολογική ανάπτυξη έχει ως αποτέλεσμα τον πολλαπλασιασμό των ενεργειακών αναγκών, ιδίως λόγω της διαρκούς βελτίωσης του βιοτικού επιπέδου που καθιστά την κατανάλωση ενέργειας για τη λειτουργία των κτηρίων, ανάγκη πρωτεύουσας σημασίας.

Ως εναλλακτική λύση στο σύγχρονο μοντέλο ανάπτυξης προτείνεται η βιώσιμη ανάπτυξη, βασική φιλοσοφία της οποίας είναι η προστασία του φυσικού περιβάλλοντος. Με την αρχή της αειφορίας και βιώσιμης ανάπτυξης έχει διαμορφωθεί ένα νέο πολιτικό και νομοθετικό πλαίσιο σε διεθνές, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο με βάση το οποίο προτείνεται η εξοικονόμηση ενέργειας και η χρήση ήπιων τεχνολογιών και μορφών ενέργειας προκειμένου να μειωθούν συνολικά οι επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η βιώσιμη ανάπτυξη αποτελεί την κατευθυντήρια δύναμη εξαιτίας της οποίας σε πολλές χώρες παγκοσμίως, υιοθετούνται μέτρα μείωσης ρύπων στην ατμόσφαιρα στα πλαίσια της οποίας συμπεριλαμβάνεται και ο βιοκλιματικός σχεδιασμός.

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός χρήζει ιδιαίτερης σημασίας καθ' ότι συνιστά ένα νέο τρόπο κατασκευής και χρήσης κτηρίων με γνώμονα την ορθολογική χρήση ενέργειας και φυσικών πόρων αποσκοπώντας στην προστασία του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με τις βασικές αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού, ο πρωταρχικός στόχος που τίθεται είναι η μείωση του θερμικού και ψυκτικού φορτίου των κτηρίων με την ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων, εκμεταλλεύοντας ωστόσο στο μέγιστο τις ανεξάντλητες πηγές ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Η παραπάνω αντίληψη συνεισφέρει συγχρόνως στην υγιεινή και ασφαλή διαβίωση των χρηστών των κτηρίων δίχως αυτό να βαίνει εις βάρος της θερμικής και οπτικής τους άνεσης (Αξαρλή, 2009).

Η έννοια του βιοκλιματικού σχεδιασμού υλοποιείται σε κτήριο το οποίο σε γενικές γραμμές διαθέτει κατάλληλο κτηριακό κέλυφος για ελαχιστοποίηση θερμικών απωλειών, αξιοποιεί στο μέγιστο την ηλιακή ακτινοβολία για φυσικό φωτισμό που θα κατανέμεται επαρκώς στους χώρους καθ' όλη τη διάρκεια του έτους λαμβάνοντας βέβαια και μέτρα ηλιοπροστασίας ενώ τέλος δεν παραλείπεται η δυνατότητα αερισμού σε αυτό (Μαρκάκη, 2010).

Πολλές έρευνες στην κατεύθυνση του βιοκλιματικού σχεδιασμού έχουν διεξαχθεί με σκοπό την εύρεση μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας και πιο συγκεκριμένα, σχετικών με τα παθητικά συστήματα που αξιοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία για θέρμανση και ψύξη χωρίς τη χρήση υψηλής τεχνολογίας και μηχανικών μέσων (Αξαρλή, 2009).

Το κτηριακό κέλυφος αποτελεί την καθοριστικότερη παράμετρο για τις συνθήκες που επικρατούν στους χώρους ενός κτηρίου εφόσον διαχωρίζει το εσωτερικό από το εξωτερικό περιβάλλον του κτηρίου. Μελέτες που έχουν διεξαχθεί σε κτήρια ζεστού κλίματος (Hong Kong) υποδεικνύουν ότι τεχνικές που αφορούν στο κτηριακό κέλυφος όπως μόνωση και εξωτερικοί πρόβολοι, μπορούν να επιφέρουν έως και 31% εξοικονόμηση ενέργειας (Cheung et al., 2005). Στον Ελλαδικό χώρο, έρευνες έχουν δείξει ότι με απλές επεμβάσεις στο κτήριο όπως μόνωση των δομικών στοιχείων, μικρή διείσδυση αέρα και εξωτερικά σκίαστρα, οι καταναλώσεις ενέργειας για ψύξη μειώνονται κατά 20-40%, 20% και 30% αντίστοιχα (Balaras et al., 2000).

Η σωστή θερμομόνωση των δομικών στοιχείων (τοίχων, οροφής, παραθύρων) δύναται να επιφέρει από 7 έως 36% εξοικονόμηση ενέργειας ετησίως ενώ μέτρα που αφορούν στην βελτίωση απόδοσης ηλιακών συστημάτων, συστημάτων θέρμανσης - ψύξης, φωτιστικών σωμάτων και ηλεκτρικών συσκευών μπορούν να αποβούν επίσης αποδοτικά επιφέροντας έως και αντίστοιχο με την μόνωση οικονομικό όφελος (Nikolaidis et al., 2009). Τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας που αφορούν στον φωτισμό μπορούν να εξοικονομήσουν έως και 50% ενεργειακών καταναλώσεων (Dubois & Blomsterberg, 2011) ενώ άλλες τεχνικές που μπορούν να εφαρμοστούν στο κτηριακό κέλυφος μπορούν να αποβούν άκρως αποδοτικές.

Κάποιες από αυτές τις τεχνικές ενδεικτικά είναι τροποποιήσεις του τοίχου Trombe με απόδοση καλύτερη κατά 54% (Ji et al., 2009), ενσωμάτωση καινοτόμων υλικών όπως των υλικών αλλαγής φάσης (PCM) σε τοίχους μειώνουν το μέγιστο της εσωτερικής θερμοκρασίας χώρων κατά 4°C μειώνοντας κατ' επέκταση και τις ενεργειακές καταναλώσεις (Kuznik & Virgone, 2009). Τοίχοι με διπλό αεριζόμενο κέλυφος δημιουργούν μία κοιλότητα αέρα μεταξύ των δύο κελύφων το οποίο λειτουργεί σαν μονωτικό στρώμα και έχει αποδειχθεί ότι εξοικονομεί 40% των ενεργειακών καταναλώσεων για ψύξη σε κατάλληλα σχεδιασμένο τοίχο (Ciampi et al., 2003). Καινοτόμες τεχνολογίες υαλοστασίων όπως διπλά υαλοστάσια με κενό στο ενδιάμεσο (Manz et al., 2006) και ηλεκτροχρωμικές επιφάνειες αποδεικνύονται αποδοτικές λόγω μικρής θερμοπερατότητας παρέχοντας την δυνατότητα εξοικονόμησης έως και 54% ενεργειακών καταναλώσεων (Papaefthimiou et al., 2006). Διάφοροι τύποι οροφών έχουν εξεταστεί ως προς την αποδοτικότητα τους εκ των οποίων πράσινα δώματα για τα κλιματικά δεδομένα της Ελλάδας αποδεικνύεται ότι αποδίδουν 2 έως και 48% εξοικονόμηση ενέργειας ανάλογα με την μόνωση της οροφής (Niachou et al., 2001), οροφές με φωτοβολταϊκά στοιχεία (Bahaj, 2003) και ιδίως με απλή μόνωση πολυστερίνης δύνανται να μειώσουν τα ενεργειακά φορτία κατά 50% (Sanjay & Prabha, 2008).

Πέραν των τεχνικών που αφορούν στο κτηριακό κέλυφος, μεγάλη αποδοτικότητα αποδεικνύεται στις τεχνικές παθητικού δροσισμού των κτηρίων. Ο φυσικός αερισμός παρέχει καλή ποιότητα αέρα και θερμική άνεση στους χώρους ενός κτηρίου, μειώνοντας τις πιθανότητες εμφάνισης φαινομένων άρρωστου κτηρίου (SBS, Sick Building Syndrome) και συνεπώς μειωμένης ανθρώπινης παραγωγικότητας (Zhiwen et al., 2007, Seppanen & Fisk, 2004) καθώς συνιστά τρόπο διάλυσης αιωρούμενων ρύπων (Dimitroulopoulou, 2012).

Ο φυσικός αερισμός αποδεικνύεται αποδοτικός τόσο ώστε εξοικονομεί 50% ενεργειακές καταναλώσεις ψύξης στην Νότια Ευρώπη (Ghiaus & Allard, 2006), ενώ συγκεκριμένα σε παραδοσιακό κτήριο της Ιταλίας που δεν πληρούνται οι προδιαγραφές βιοκλιματικού σχεδιασμού, οι καταναλώσεις μειώνονται κατά 43-52% ανάλογα με την περιοχή (Cardinale et al., 2003).

Ο νυχτερινός αερισμός είναι μία από τις πιο αποτελεσματικές τεχνικές παθητικού δροσισμού καθώς βασίζεται στην ανακύκλωση ψυχρού περιβαλλοντικού αέρα με αποτέλεσμα την μείωση τόσο της θερμοκρασίας του κτηριακού κελύφους όσο και της εσωτερικής θερμοκρασίας. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται μείωση ψυκτικών φορτίων από 10 έως 40% (26% κατά μέσο όρο) και πτώση 3°K της μέγιστης θερμοκρασίας της επόμενης ημέρας σε ένα κτήριο της Ελλάδας (Santamouris et al., 2010) ενώ ακόμα και σε ένα κτήριο ψυχρού κλίματος, όπως της Αγγλίας επιτυγχάνεται 13% μείωση ψυκτικών φορτίων στην πιο ζεστή εβδομάδα του χρόνου (Kolokotroni et al., 2006).

Ο ελεγχόμενος εξατομικευμένος τρόπος αερισμού σε ζεστά κλιματικά δεδομένα αποδεικνύεται άκρως αποδοτικός παρέχοντας καλή ποιότητα αέρα και θερμική άνεση στους χώρους ενώ επιφέρει πολλαπλά ενεργειακά κέρδη σε σχέση με συμβατικό μηχανισμό αερισμού με ανάμειξη, εξοικονομώντας έως και 51% καταναλώσεων (Schiavon et al., 2010, Yang et al., 2010).

Στις τεχνικές φυσικού δροσισμού συγκαταλέγονται και αυτές της ηλιοπροστασίας με σκοπό τον έλεγχο της άμεσης και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο εσωτερικό του κτηρίου και η οποία είναι αυτή που κατά κύριο λόγο διαμορφώνει το ψυκτικό φορτίο του χώρου. Αποτέλεσμα αυτού είναι η συνεισφορά της ηλιοπροστασίας στην εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη, στον έλεγχο της υπερθέρμανσης και συνεπώς στη δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης, ρυθμίζοντας συνάμα και την ποιότητα του φυσικού φωτισμού, μειώνοντας την πιθανότητα θάμβωσης (Αξαρλή, 2009). Εξάλλου επιφάνειες υαλοστασίων που είναι εξωτερικά σκιασμένες, μειώνουν τα ηλιακά κέρδη που εισέρχονται στο εσωτερικό του κτηρίου, σε ποσοστό 80% (ASHRAE Handbook - Fundamentals, 2005, Chapter 31).

Διάφοροι τύποι συστημάτων σκίασης έχουν ερευνηθεί διεξοδικά ως προς την συνεισφορά τους στην καλή ποιότητα φωτός σε εσωτερικούς χώρους, συναρτήσει των ενεργειακών καταναλώσεων που συνεπάγονται. Κατά σειρά ιεραρχίας, τα συστήματα σκίασης με κάθετη κλίση ταυτίζονται με τις ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις ενός κτηρίου και τα βέλτιστα επίπεδα φωτισμού, εν συνεχεία βρίσκονται τα οριζόντια συστήματα και τέλος τα συστήματα υπό κλίση 45°, τοποθετημένα σε νότιες προσόψεις κτηρίων (Alzoubi & Al-Zoubi, 2010).

Οι εξωτερικοί πρόβολοι ελέχθησαν ως προς την οπτική άνεση που προσφέρουν καθώς και την συνεισφορά τους στις ενεργειακές καταναλώσεις σε ζεστό και ψυχρό κλίμα. Προέκυψε 5% μείωση ετήσιας πρωτογενούς ενέργειας από προβόλους που εφαρμόστηκαν σε μεγάλης επιφάνειας ηλεκτροχρωμικά υαλοστάσια σε κτήριο ζεστού κλίματος (Lee & Tavil, 2007).

Εξωτερικό κυλινδρικό σύστημα σκίασης εφαρμοσμένο σε υαλοστάσια κτηρίου στον Καναδά, με 30% ποσοστό επιφανείας σε τοίχο, μπορεί να παρέχει τα απαιτούμενα επίπεδα φωτισμού (500lux) και να μειώσει κατά 50% τις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη σε σχέση με ένα μη σκιασμένο κτήριο. Αν ληφθεί υπόψη η αύξηση των ηλεκτρικών απαιτήσεων σε φωτισμό, με το βέλτιστο συνδυασμό ηλιακών και εσωτερικών κερδών, η ετήσια ενεργειακή απαίτηση μειώνεται κατά 12% (Tzempelikos & Athienitis, 2007).

Εξετάστηκαν οι ενεργειακές απαιτήσεις εξωτερικών περσίδων σε κτήρια διαφορετικών χωρών σε συνδυασμό με τις γεωμετρικές παραμέτρους που τις επηρεάζουν. Από την έρευνα αυτή προέκυψε ότι μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας παρατηρήθηκε σε χώρες με μεγαλύτερη ηλιοφάνεια, όπως για παράδειγμα στην Ισπανία και Πορτογαλία και όχι τόσο στην Αγγλία, ενώ οι ανάγκες για θέρμανση εξαιτίας των συστημάτων σκίασης αυξήθηκαν στις πιο ψυχρές χώρες. Συνεπώς σε ψυχρές χώρες, οι περσίδες σκίασης ενδείκνυνται μόνο σε συνδυασμό με αυτοματοποιημένα συστήματα προς αποφυγή αύξησης αναγκών θέρμανσης Η εξοικονόμηση ενέργειας ήταν μεγαλύτερη στην περίπτωση μεγαλύτερων υαλοστασίων και διακυμάνθηκε από 3 έως και 60% ανάλογα με την περιοχή. Πιο συγκεκριμένα, για την μέγιστη επιφάνεια παραθύρων παρατηρήθηκε 9, 50 και 60% ενεργειακή εξοικονόμηση για Ισπανία, Πορτογαλία και Αίγυπτο αντίστοιχα (Palmero-Marrero & Oliveira, 2010).

Με σκοπό την επίτευξη καλύτερης ενεργειακής απόδοσης κτηρίων, εξετάζονται περιπτώσεις συνδυασμού μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας. Συγκεκριμένα αναλύθηκε η περίπτωση κινούμενων εξωτερικών σκιάστρων σε συνδυασμό με φυσικό αερισμό σε κτήριο του Βελγίου με στόχο την μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων (Moeseke et al., 2007). Συστήματα σκίασης μπορούν να εφαρμοστούν ακόμα και σε κτήρια διπλού κελύφους για βέλτιστη ενεργειακή απόδοση (Gratia & De Herde, 2007).

Στα πλαίσια ενεργειακής βελτίωσης απόδοσης του εκάστοτε κτηρίου, διάφορες σχετικές παράμετροι όπως οικονομικοί και περιβαλλοντικοί πρέπει να ληφθούν υπόψη και να ιεραρχηθούν, ώστε να προκύψει η βέλτιστη λύση. Στο σκοπό αυτό μελέτες έχουν διεξαχθεί, υποδεικνύοντας τόσο τις παραμέτρους όσο και τον τρόπο που πρέπει να αξιολογηθούν (Kolokotsa et al, 2009, Diakaki et al., 2010).

1.3 Ισχύουσα κατάσταση και νομοθεσία

1.3.1 Διεθνές πλαίσιο

Η Ευρωπαϊκή ενεργειακή πολιτική έχει σαφή προσανατολισμό προς τη διατήρηση ενέργειας και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων. Στην κατεύθυνση αυτή, υιοθετήθηκε η Οδηγία 2002/91/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και Συμβουλίου (Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), με περιεχόμενο την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων, η οποία εφαρμόζεται στα κράτη μέλη. Στην οδηγία αυτή σκιαγραφείται ένας νέος τρόπος μελέτης και κατασκευής κτηρίων προδιαγράφοντας σημαντικές βελτιώσεις στην ποιότητα του περιβάλλοντος καθώς προωθείται μία ορθολογικότερη χρήση ενέργειας, εντάσσοντας δυναμικά πλέον την έννοια των Α.Π.Ε. (Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, Οδηγία 2002/91/ΕΚ, EPBD, 2002).

Ακολούθησαν σχετικές τροποποιήσεις, η καθοριστικότερη εκ των οποίων είναι η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2010/31/EU η οποία καθιστά προαπαιτούμενη την υψηλή ενεργειακή απόδοση των κτηρίων καθώς στόχο έχει έως την 31/12/2020, όλα τα νέα κτήρια να είναι κτήρια σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης (near-Zero Energy Buildings), δηλαδή σε ετήσια βάση να εμφανίζουν μηδενικό ενεργειακό ισοζύγιο (EPBD, 2010).

Η χάραξη της Ευρωπαϊκής πολιτικής Ένωσης στοχεύει έως το 2020 να επιτευχθεί 20% μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, 20% αύξηση της ενεργειακής απόδοσης και 20% αύξηση της χρήσης των ΑΠΕ στο σύνολο της κατανάλωσης ενέργειας (EUROPA).

Η ανάγκη εκτίμησης του βαθμού βιωσιμότητας κτηρίων οδήγησε στην ανάπτυξη μεθόδων αξιολόγησης οι οποίες εφαρμόζονται σε πολλές χώρες παγκοσμίως. Οι μέθοδοι αυτές προσφέρουν βαθμολόγηση και πιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων μίας κατασκευής, κατατάσσοντάς την σε κατηγορία.

Οι δύο πιο ευρέως διαδεδομένες μέθοδοι αξιολόγησης είναι η B.R.E.E.A.M. (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) και η L.E.E.D. (Leadership in Energy and Environmental Design).

Η αξιολόγηση ενός κτηρίου με την μέθοδο B.R.E.E.A.M. γίνεται σύμφωνα με ένα συγκεκριμένο αριθμό κριτηρίων περιβαλλοντικής επίδοσης που αφορούν όχι μόνο στον ενεργειακό σχεδιασμό, αλλά στο ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών επιπτώσεων μιας κατασκευής. Αυτές παρουσιάζονται τόσο στο σχεδιαστικό και λειτουργικό στάδιο (όπως η κατανάλωση νερού, η χρήση υλικών, η ατμοσφαιρική ρύπανση, η επίδραση στο οικοσύστημα της περιοχής και ο βαθμός άνεσης των χρηστών), όσο και στο στάδιο αποπεράτωσης (όπως η διαχείριση εργοταξίου). Η μεθοδολογία στηρίζεται σε ποιοτικά αλλά και σε ποσοτικά κριτήρια χωρισμένα σε ενότητες, η κάθε μία από τις οποίες χαρακτηρίζεται από ένα προκαθορισμένο βαθμό βαρύτητας. Υπάρχουν κάποια βασικά προαπαιτούμενα κριτήρια, αλλά κατά κύριο λόγο το B.R.E.E.A.M. αποτελεί μια ευέλικτη μεθοδολογία αξιολόγησης που στοχεύει στην επιβράβευση των κτηρίων που ξεπερνούν τα συμβατικά σημεία αναφοράς. Η τελική βαθμολόγηση συνοδεύεται με την παροχή πιστοποιητικού που αναγράφει τη σχετική βαθμίδα επίδοσης (BREEAM).

Όσον αφορά στην μέθοδο L.E.E.D., δημιουργήθηκε από το U.S.G.B.C. (United States Green Building Council) και έχει μεθοδολογία παρεμφερή με την αντίστοιχη του B.R.E.E.A.M. Η διαφορά έγκειται στα κριτήρια αξιολόγησης τα οποία είναι διαφορετικά και σε αντίθεση με την B.R.E.E.A.M., είναι πάγια για κάθε χώρα (USGBC).

Και οι δύο μέθοδοι διεκπεραιώνονται από ειδικά εκπαιδευμένους ανεξάρτητους βαθμολογητές, οι οποίοι είναι πιστοποιημένοι από τους δυο οργανισμούς. Ο ρόλος τους είναι η συνεργασία με τις σχεδιαστικές και κατασκευαστικές ομάδες και η συγκέντρωση των απαραίτητων δικαιολογητικών και στοιχείων για την τεκμηρίωση της επίδοσης στα επιμέρους κριτήρια βαθμολόγησης. Για να εκδοθεί το πιστοποιητικό, οι βαθμολογητές παραδίδουν το σύνολο των τεκμηρίων στους οργανισμούς πιστοποίησης και, αφού δοθεί η έγκριση, εκδίδεται το πιστοποιητικό για το κτήριο.

1.3.2 Εθνικό πλαίσιο

Η αναγκαιότητα για βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή οδήγησε τη χώρα μας στην εναρμόνιση του εθνικού μας δικαίου με την Κοινοτική Οδηγία 2002/91/ΕΚ, μέσω του Νόμου 3661/2008 (ΦΕΚ Α' 89), ο οποίος αναφέρεται σε "Μέτρα για την μείωση ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων και άλλες διατάξεις". Ο νόμος Ν. 3661/2008 αποτελεί τον "προάγγελο" της γενικότερης δομής του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων, καθώς θεσμοθετεί τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων του τριτογενούς τομέα και κτηρίων κατοικιών. Καθιστά απαραίτητη την έκδοση Μελέτης Ενεργειακής Απόδοσης (Μ.Ε.Α.) και Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (Π.Ε.Α.). Χρήζει ακόμα απαραίτητη την τακτική επιθεώρηση λεβήτων και συστημάτων κλιματισμού ενώ παράλληλα εισήγαγε την έννοια του Ενεργειακού Επιθεωρητή (Εφημερίς της Κυβερνήσεως, Ν.3661/2008).

Ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.Εν.Α.Κ.) εγκρίθηκε με την Δ6/Β/οικ.5825/30-03-2010 Κοινή Απόφαση των Υπουργών Οικονομικών και Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΦΕΚ Β΄ 407) (Εφημερίς της Κυβερνήσεως, Υ.Α. 5825/2010). Έτσι ολοκληρώθηκε το πλαίσιο των αναγκαίων κανονιστικών ρυθμίσεων για την πλήρη εφαρμογή του Ν. 3661/2008 (ΦΕΚ Α΄ 89), όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 10 του Νόμου 3851/2010 (ΦΕΚ Α΄ 85), για την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων (ΥΠΕΚΑ, Ν.3851/2010). Ο Νόμος 3851/2010 με θέμα την "Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής" ορίζει επακριβώς την διαδικασία της ενεργειακής επιθεώρησης καθώς και τον ενεργειακό επιθεωρητή. Βασικότερη τροποποίηση του Ν. 3661/2008 από τον εν λόγο νόμο αποτελεί η κατάργηση του ορίου των 1000 m^2 για την τήρηση των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης υφισταμένων κτηρίων που ανακαινίζονται ριζικά ενώ προστίθεται η υποχρέωση κάλυψης του 60% των αναγκών για ζεστό νερό χρήσης από ηλιοθερμικά συστήματα, καθώς και η πρόβλεψη για κτήρια σχεδόν «μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης (Εφημερίς της Κυβερνήσεως, Ν.3851/2010).

Κατόπιν ακολούθησαν επιπρόσθετες σχετικές με το θέμα παράμετροι, οι οποίες αναφέρθηκαν στο Νόμο 3855/2010 που αναφερόταν σε "Μέτρα για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά την τελική χρήση, ενεργειακές υπηρεσίες και άλλες διατάξεις" (Εφημερίς της Κυβερνήσεως, Ν.3855/2010).

Έπειτα ψηφίστηκε το Προεδρικό Διάταγμα 100/2010 με θέμα «Ενεργειακοί Επιθεωρητές Κτηρίων, Λεβήτων και Εγκαταστάσεων Θέρμανσης και Εγκαταστάσεων Κλιματισμού» (ΦΕΚ 177/Α/6.10.2010) (Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Προεδρικό Διάταγμα 100/2010).

Με Κοινή Υπουργική Απόφαση Δ6/Β/οικ.5825/2010 έχοντας τίτλο «Έγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων» (ΦΕΚ Β΄ 407) τέθηκαν οι βασικότερες ρυθμίσεις που ορίζουν την μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων (Εφημερίς της Κυβερνήσεως, Υπουργική Απόφαση Δ6/Β/οικ.5825/2010).

Ακολούθως για την υποστήριξη και αποσαφήνιση της εφαρμογής του Κ.Εν.Α.Κ. εγκρίθηκαν με την οικ. 17178/2010 Απόφαση Υπουργού (ΦΕΚ Β΄ 1387) «Έγκριση και εφαρμογή των Τεχνικών Οδηγιών ΤΕΕ για την Ενεργειακή Απόδοση Κτηρίων», οι ακόλουθες τέσσερις Τεχνικές Οδηγίες του ΤΕΕ. Η ΤΟΤΕΕ 20701-1-2010 «Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης», η ΤΟΤΕΕ 20701−2/2010 «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων», η ΤΟΤΕΕ 20701−3/2010 «Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών» και τέλος η ΤΟΤΕΕ 20701-4/2010 «Οδηγίες και έντυπα ενεργειακών επιθεωρήσεων κτηρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού» (Εφημερίς της Κυβερνήσεως, Αποφάσεις, 2/9/2010).

Με τον Κ.Εν.Α.Κ ενσωματώνεται πλέον η έννοια του ολοκληρωμένου ενεργειακού σχεδιασμού στη μελέτη των κτηρίων, που συμβάλλει καθοριστικά στη βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης, στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην προστασία του περιβάλλοντος.

Αξίζει τέλος, να τονιστεί ότι ο Κ.Εν.Α.Κ θα πρέπει πλέον να αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του Ελληνικού γίγνεσθαι καθώς η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2010/31/EU ενισχύει ριζικά την ποιότητα και τη σημασία των ενεργειακών επιθεωρήσεων, δημιουργώντας την τάση των κτηρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης (near-Zero Energy Buildings) (Official Journal of the European Union, Directive 2010/31/EU).

1.3.2.1 Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων

Με την Υπουργική Απόφαση Δ6/Β/οικ.5825/2010 εγκρίθηκε ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων σύμφωνα με τον οποίο τέθηκαν όλες οι απαραίτητες ρυθμίσεις για την μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων. Καθορίστηκαν έτσι οι ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση, οι κατηγορίες για την ενεργειακή κατάταξη των κτηρίων καθώς και οι ελάχιστες προδιαγραφές για τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Επιπλέον καθορίστηκαν τα θερμικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτηριακού κελύφους, οι προδιαγραφές των Η/Μ εγκαταστάσεων των υπό μελέτη νέων κτηρίων καθώς και των ριζικά ανακαινιζόμενων. Ακόμα ορίστηκε το περιεχόμενο της Μελέτης Ενεργειακής Απόδοσης των κτηρίων (Μ.Ε.Α.), η μορφή του Πιστοποιητικού Ενεργειακής

Απόδοσης Κτηρίου (Π.Ε.Α.), καθώς και τα στοιχεία που αυτό θα περιλαμβάνει. Τέλος αποσαφηνίστηκε πλήρως τόσο η διαδικασία των ενεργειακών επιθεωρήσεων των κτηρίων όσο και η διαδικασία των επιθεωρήσεων λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και κλιματισμού (Εφημερίς της Κυβερνήσεως, Υπουργική Απόφαση Δ6/Β/οικ.5825/2010, Άρθρο 1).

1.3.2.2 Ενεργειακή επιθεώρηση κτηρίων

Ως ενεργειακή επιθεώρηση ορίζεται η διαδικασία που αποσκοπεί στην εκτίμηση κατανάλωσης της πρωτογενούς ενέργειας του κτηρίου ανά τελική χρήση (θέρμανση, ψύξη, αερισμός, φωτισμός, ΖΝΧ) και συνολικά, στην ενεργειακή κατάταξη του κτηρίου, στην έκδοση του ΠΕΑ, στη σύνταξη συστάσεων προς τον ιδιοκτήτη/χρήστη για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου του (Εφημερίς της Κυβερνήσεως, Υπουργική Απόφαση Δ6/Β/οικ.5825/2010, Άρθρο 15).

Η ενεργειακή επιθεώρηση διεξάγεται από Ενεργειακούς Επιθεωρητές, εγγεγραμμένους στο Μητρώο Ενεργειακών Επιθεωρητών, σύμφωνα με το άρθρο 6 του Ν. 3661/2008 και περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια.

- Ανάθεση Ενεργειακής Επιθεώρησης

Η ανάθεση γίνεται από τον ιδιοκτήτη/διαχειριστή του κτηρίου κατόπιν πρόσκλησης του ενεργειακού επιθεωρητή. Κατά την ανάθεση, γίνεται η αρχική ενημέρωση από τον επιθεωρητή για τη διαδικασία της ενεργειακής επιθεώρησης και διατυπώνονται οι συμβατικές υποχρεώσεις του επιθεωρητή και του ιδιοκτήτη του ακινήτου. Ο επιθεωρητής ενημερώνει τον διαχειριστή για τις πληροφορίες που θα χρειαστεί για τη διενέργεια της επιθεώρησης (π.χ. αρχιτεκτονικά σχέδια του κτηρίου ως κατασκευασθέν, μελέτη θερμομόνωσης, σχέδια Η/Μ εγκαταστάσεων, πιστοποιητικά και δελτία αποστολής υλικών) και εξασφαλίζει τη δυνατότητα πρόσβασης στους εσωτερικούς κοινόχρηστους και ιδιόκτητους χώρους για την επιθεώρησή τους.

- Ηλεκτρονική Απόδοση Αριθμού Πρωτοκόλλου

Ο επιθεωρητής επισκέπτεται την ιστοσελίδα της Ειδικής Υπηρεσίας Επιθεωρητών Ενέργειας (Ε.Υ.ΕΠ.ΕΝ) του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής (www.buildingcert.gr), καταχωρεί τα γενικά στοιχεία του ακινήτου που πρόκειται να επιθεωρήσει και λαμβάνει ηλεκτρονικά έναν αριθμό πρωτοκόλλου από το πληροφοριακό σύστημα της Ε.Υ.ΕΠ.ΕΝ. Ο συγκεκριμένος αριθμός πρωτοκόλλου συνοδεύει όλη τη διαδικασία μέχρι το πέρας της, για την ηλεκτρονική καταχώρηση της Π.Ε.Α και όλων των σχετικών εγγράφων που υποβάλλονται ηλεκτρονικά.

- Επιθεώρηση Κτηρίου

Κατά την επιθεώρηση κτηρίου συλλέγονται αναλυτικά τα στοιχεία για το υπό επιθεώρηση κτήριο κατά τη διάρκεια της επιτόπιας επίσκεψης του ενεργειακού επιθεωρητή με τη βοήθεια των σχετικών εντύπων ενεργειακής επιθεώρησης και επαληθεύονται με τα στοιχεία που έχουν παρασχεθεί από τον διαχειριστή. Ιδιαίτερα σε κτήρια μεγάλης επιφάνειας και σύνθετων Η/Μ εγκαταστάσεων, ο επιθεωρητής μπορεί να προβεί στη διεξαγωγή μετρήσεων ορισμένων μεγεθών με τη χρήση κατάλληλου εξοπλισμού.

- Υπολογισμοί & Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Ακολουθεί ο υπολογισμός της ενεργειακής απόδοσης και της ενεργειακής κατάταξης του εξεταζόμενου κτηρίου κατά τη διαδικασία της ενεργειακής επιθεώρησης, βασικό εργαλείο για το οποίο είναι το λογισμικό ΤΕΕ-Κ.Εν.Α.Κ. Το λογισμικό ενσωματώνει τη μεθοδολογία που αναπτύσσεται στον Κ.Εν.Α.Κ. τις σχετικές ΤΟΤΕΕ και διατίθεται από το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (Τ.Ε.Ε.). Με την εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό και την εκτέλεση των υπολογισμών, προσδιορίζεται η ειδική ενεργειακή κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά χρήση του εξεταζόμενου κτηρίου, συγκρίνεται με την αντίστοιχη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτηρίου αναφοράς και κατατάσσεται σε μια ενεργειακή κατηγορία. Στη συνέχεια, λαμβάνοντας υπόψη την ανάλυση των αποτελεσμάτων των υπολογισμών, ο επιθεωρητής διατυπώνει προτάσεις εναλλακτικών σεναρίων με σκοπό την βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτηρίου.

Για τα νέα ή ριζικά ανακαινιζόμενα κτήρια, ο επιθεωρητής ελέγχει, επίσης, την πιστή εφαρμογή της μελέτης ενεργειακής απόδοσης κατά την κατασκευή του κτηρίου, διασταυρώνοντας π.χ. τις ποσότητες των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν (από τα δελτία αποστολής) και τις ιδιότητές τους (από τα πιστοποιητικά που τα συνοδεύουν), σε σχέση με αυτά που προέβλεπε η μελέτη.

- Έκδοση Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίου (Π.Ε.Α.)

Με την ολοκλήρωση των υπολογισμών, ο επιθεωρητής υποβάλλει ηλεκτρονικά το αρχείο δεδομένων (xml) τόσο στην Ε.Υ.Ε.Π.ΕΝ. όσο στο Αρχείο Επιθεώρησης Κτηρίων και εκδίδεται το Π.Ε.Α., το οποίο και παραδίδεται στον ιδιοκτήτη/διαχειριστή του κτηρίου (Εφημερίς της Κυβερνήσεως, Υπουργική Απόφαση Δ6/Β/οικ.5825/2010, Άρθρο 15)

1.4 Δομή εργασίας

Όπως γίνεται αντιληπτό από τη βιβλιογραφία, δημιουργείται πλέον η ανάγκη για εύρεση μέτρων που θα βελτιώνουν την ενεργειακή απόδοση των κτηρίων, αξιολογώντας παράλληλα και την περιβαλλοντική παράμετρο.

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι η μελέτη και εύρεση μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας κατάλληλων ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν σε κτήρια θερμού κλίματος, όπως αυτό της Ελλάδας.

Στα πλαίσια αυτού του σκοπού, μελετήθηκε κτήριο τριτογενούς τομέα για το οποίο αναλύθηκε τόσο η υφιστάμενη ενεργειακή του κατάσταση όσο και κάποια μέτρα που θα μπορούσαν να συμβάλλουν δραστικά στην ενεργειακή του βελτίωση. Εξετάστηκε έτσι, η περίπτωση εφαρμογής εξωτερικών σκιάστρων με σκοπό τον έλεγχο της ενεργειακής απόδοσης του κτηρίου λαμβάνοντας υπόψη ωστόσο και το περιβαλλοντικό όφελος το οποίο συνεπάγεται. Επιπρόσθετα μελετήθηκε η περίπτωση πρόσοψης διπλού κελύφους, μίας καινοτόμας κατασκευής για τα Ελληνικά δεδομένα. Η κατασκευή αυτή συνδυάστηκε με δύο διαφορετικούς τρόπους αερισμού και συστήματα σκιασμού ώστε το κτήριο να είναι ενεργειακά και περιβαλλοντικά αποδοτικό τόσο σε ανάγκες θέρμανσης όσο και ψύξης.

Η παρούσα εργασία συνίσταται από 6 κεφάλαια. Στο Πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία ανασκόπηση σε μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας που εφαρμόζονται στο δομημένο περιβάλλον καθώς και της ισχύουσας κατάστασης, τόσο σε διεθνές όσο και εθνικό πλαίσιο.

Στο Δεύτερο Κεφάλαιο δίνονται βασικοί ορισμοί και περιγραφές των κατασκευών διπλοκέλυφων προσόψεων (Double - Skin Facade, DSF) και της συνεισφοράς τους στην εξοικονόμηση ενέργειας του κτηριακού τομέα.

Στο Τρίτο Κεφάλαιο περιγράφεται η μελέτη του κτηρίου και πιο συγκεκριμένα τα δεδομένα που προέκυψαν από την ενεργειακή επιθεώρηση που διεξήχθη σε αυτό και αφορούν το κτηριακό κέλυφος αλλά και τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό που διαθέτει το κτήριο.

Στο Τέταρτο Κεφάλαιο αναλύεται η ενεργειακή μελέτη του υφιστάμενου κτηρίου που προέκυψε από μοντελοποίηση με χρήση λογισμικού.

Στο Πέμπτο Κεφάλαιο παρατίθενται τα μέτρα ενεργειακής βελτίωσης που εξετάστηκαν για το υπό μελέτη κτήριο καθώς και η αποδοτικότητά τους, τόσο σε ενεργειακό όσο και περιβαλλοντικό επίπεδο.

Τέλος στο Έκτο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και σχόλια που εξήχθησαν από το σύνολο της παρούσας εργασίας καθώς και οι προτάσεις προς μελλοντική έρευνα.

Κεφάλαιο 2 : Η συνεισφορά των διπλοκέλυφων προσόψεων (Double - Skin Façade, DSF) στην εξοικονόμηση ενέργειας

2.1 Εισαγωγή

Οι διπλοκέλυφες κατασκευές αποτελούν ένα καινοτόμο σύστημα πρόσοψης το οποίο αποκτά όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον καθώς στα πλαίσια του βιοκλιματικού σχεδιασμού μπορεί να αποτελέσει μία λύση με σκοπό την επίτευξη χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, καλών επιπέδων θερμικής, οπτικής και ακουστικής άνεσης δίνοντας παράλληλα ένα αποτέλεσμα υψηλής αισθητικής.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται βασικές παράμετροι που σχετίζονται με τις εν λόγω κατασκευές.

2.2 Γενική περιγραφή διπλοκέλυφης πρόσοψης

Η διαρκώς αυξανόμενη ανάγκη αφενός για φυσικό αερισμό και αφετέρου για εξοικονόμηση ενέργειας στον κτηριακό τομέα δημιούργησε μία Ευρωπαϊκή τάση στην αρχιτεκτονική που εξαπλώνεται ολοένα και περισσότερο, αυτή της κατασκευής διπλοκέλυφων προσόψεων (Double Skin Facade, DSF).

Την τελευταία δεκαπενταετία οι διπλοκέλυφες προσόψεις αποτελούν χαρακτηριστικό αρκετών κτηρίων λόγω των πολλών ενεργειακών και περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων που διαθέτουν. Ωστόσο στην περίπτωση που οι διπλοκέλυφες κατασκευές δεν είναι καλά σχεδιασμένες, τότε τα κτήρια μπορούν να παρουσιάσουν προβλήματα ενεργειακής απόδοσης και κακής ποιότητας εσωτερικού αέρα. Για τον λόγο αυτό, διεξήχθη λεπτομερής έρευνα που σκοπό είχε τον βέλτιστο σχεδιασμό των διπλοκέλυφων κατασκευών σε συνδυασμό με την οικονομική βιωσιμότητα που πρέπει να εξασφαλίζεται, στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής ερευνητικής δράσης «BEST FACADE» η οποία χρηματοδοτήθηκε από το πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Κοινότητας «Energy Intelligent Europe» (BEST FACADE).

Ως διπλοκέλυφη πρόσοψη ορίζεται μία συμβατική πρόσοψη μπροστά από την οποία προστίθεται άλλη μία πρόσοψη αποτελούμενη από υαλοστάσια δημιουργώντας έτσι μία κοιλότητα κατάλληλων διαστάσεων. Ουσιαστικά πρόκειται για μία κατασκευή στην οποία ο κύριος όγκος του κτηρίου περιβάλλεται συνολικά ή τμηματικά από μία δεύτερη εξωτερική όψη σε κάποια απόσταση από το κτήριο. Η κάθε μία από τις προσόψεις (εσωτερική και εξωτερική) αποκαλείται κέλυφος (skin) γι' αυτό και η εν λόγω κατασκευή ονομάζεται "Διπλοκέλυφη Πρόσοψη". Η κοιλότητα μεταξύ των κελύφων ποικίλει από μερικά εκατοστά μέχρι έως κάποια μέτρα και υφίσταται αερισμό με φυσικό, μηχανικό ή υποστηριζόμενο με ανεμιστήρες μηχανισμό (BBRI, 2004, Heimrath et al., 2005, Shameri et al., 2011).

2.3 Ιστορία των διπλοκέλυφων προσόψεων

Το 1849 ο Jean-Baptiste Jobard διευθυντής του βιομηχανικού μουσείου στις Βρυξέλλες περιέγραψε μία πρώιμη μορφή αεριζόμενων διπλοκέλυφων προσόψεων ισχυριζόμενος ότι τον χειμώνα θερμός αέρας έπρεπε να ανακυκλώνεται στην κοιλότητα και ψυχρός το καλοκαίρι (Saelens, 2002). Η πρώτη κατασκευή διπλού υαλοπετάσματος εμφανίζεται σε ένα εργοστάσιο της Γερμανίας το 1903 με σκοπό την μεγιστοποίηση του φυσικού φωτισμού λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τον ψυχρό καιρό και τους δυνατούς ανέμους της περιοχής, δίνοντας ένα άκρως ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Στην Αυστρία το 1912, το ταχυδρομικό ταμιευτήριο διαθέτει διπλοκέλυφο φεγγίτη ενώ από το τέλος της δεκαετίας του 1920 αρχίζουν να εφαρμόζονται κάποιες εναλλακτικές μορφές. Ο αρχιτέκτονας Le Corbusier χρησιμοποίησε διπλό υαλοπέτασμα στο κτήριο «Villa Schwob» της Ελβετίας το 1916 ενώ ο ίδιος αρχιτέκτονας κατασκεύασε επίσης τους λεγόμενους «ουδέτερους τοίχους» κατά το σχεδιασμό της «Cite de Refuge» to 1929 στο Παρίσι. Στην Ρωσία το 1928 ο Moisel Ginzburg επιχείρησε την εφαρμογή διπλοκέλυφων λωρίδων ενώ μέχρι το τέλος του '70, αρχές του '80 ελάχιστη πρόοδος είχε παρατηρηθεί στις διπλοκέλυφες υάλινες προσόψεις. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980 ξεκίνησε να αποκτά ορμή η τάση των DSF οι οποίες σχεδιάζονταν κυρίως για περιβαλλοντικούς σκοπούς αλλά και κατόπιν για λόγους αισθητικής (Heimrath et al., 2005). Ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός εξαιτίας των περιβαλλοντικών ανησυχιών που υπήρχαν από το τέλος του '90, αποτέλεσε την κινητήρα δύναμη για την εξάπλωση των DSF. Αυτό διότι έτσι εξυπηρετήθηκε διπλός σκοπός, αφενός τα DSF αποτέλεσαν μία αποδοτική κατασκευή αλλά επιπρόσθετα παρείχαν την εικόνα των «πράσινων κτηρίων» που αδιαμφισβήτητα λειτούργησε ευεργετικά στην διαμόρφωση της τάσης αυτής (Poirazis, 2004).

2.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Ένα σύστημα διπλοκέλυφης πρόσοψης έχει τα εξής τεχνικά χαρακτηριστικά.

- Εξωτερικοί και εσωτερικοί υαλοπίνακες

Η επιλογή του τύπου του υαλοπίνακα που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από την κατηγορία του DSF. Για παράδειγμα, στην περίπτωση ενός αεριζόμενου DSF με εξωτερικό αέρα, χρησιμοποιείται συνήθως μονωτικός εσωτερικός υαλοπίνακας με θερμοδιακοπή και ένα μονός εξωτερικά. Στην περίπτωση αεριζόμενου DSF με εσωτερικό αέρα μόνο, χρησιμοποιείται συνήθως μονωτικός υαλοπίνακας εξωτερικά ώστε να μην διαφεύγει η θερμότητα στο εξωτερικό περιβάλλον.

- Διάκενο αέρα μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού υαλοπίνακα

Ο αερισμός του διακένου μπορεί να πραγματοποιηθεί με τρεις μηχανισμούς, όπως έχει προαναφερθεί. Το πλάτος της κοιλότητας ποικίλει ανάλογα με τον τύπο της κατασκευής, κυμαίνεται από 10cm μέχρι και παραπάνω από 2m και σχεδιάζεται ανάλογα με το μέγιστο ρυθμό ροής αερισμού που επιτυγχάνεται (Chan et al., 2009). Το πλάτος αυτό επηρεάζει τις φυσικές ιδιότητες της πρόσοψης και τον τρόπο που πρέπει να συντηρείται.

- Σύστημα σκίασης

Μία κατασκευή DSF μπορεί προαιρετικά να διαθέτει σύστημα σκίασης το οποίο αποσκοπεί στην προστασία του διακένου από αντίξοες καιρικές συνθήκες. Η χρήση ή όχι καθώς και το είδος που ενδεχομένως θα χρησιμοποιηθεί σχετίζεται με την κατηγορία του DSF, το μηχανισμό αερισμού και την γεωμετρία της κοιλότητας. Καθοριστικό ρόλο παίζουν το είδος των σκιάστρων, η κλίση τους, το χρώμα, οι ιδιότητες, η μεταξύ τους απόσταση αλλά και η απόσταση που έχουν από το κτήριο. Ωστόσο, η χρήση συστήματος σκίασης αξίζει να σημειωθεί ότι απαιτεί τακτική συντήρηση και καθαριότητα (Gratia & De Herde, 2007).

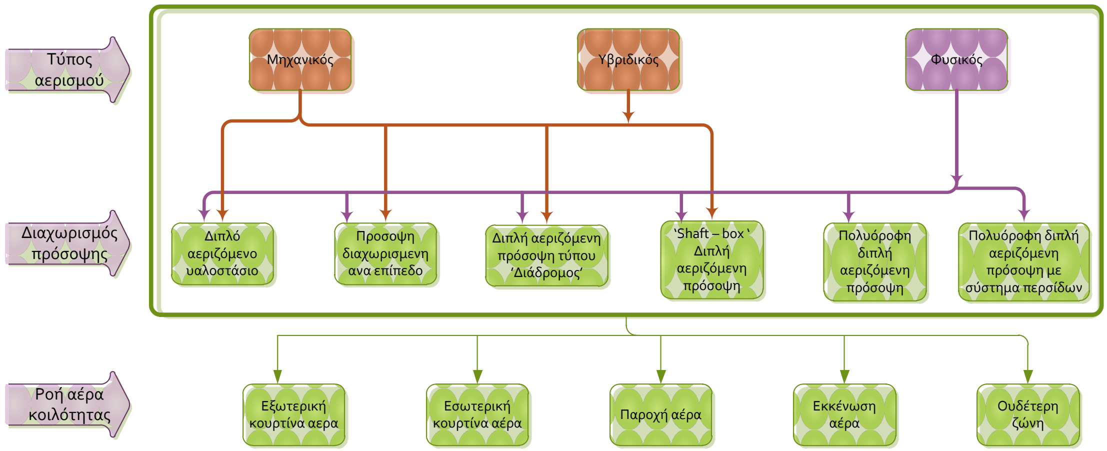
- Ανοίγματα

Ανοίγματα στο εξωτερικό και εσωτερικό κέλυφος καθώς επίσης και ανεμιστήρες επιτρέπουν τον αερισμό της κατασκευής, παράμετρος κλειδί για την αποδοτικότητα του έργου. Ο σωστός σχεδιασμός των ανοιγμάτων συναρτήσει της γεωμετρίας του διακένου και του ενδεχόμενου συστήματος σκίασης, επηρεάζουν άρδην την κίνηση του αέρα στην κοιλότητα.

Όλες οι παραπάνω παράμετροι πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη για τον βέλτιστο σχεδιασμό μίας κατασκευής DSF (Heimrath, 2005, Schiefer, 2008, Shimeri et al., 2011).

2.5 Κατηγοριοποίηση

Η διάκριση των κατασκευών DSF σε κατηγορίες, πραγματοποιείται με βάση τον τύπο αερισμού, τον διαχωρισμό της πρόσοψης καθώς και τον ροή αέρα της κοιλότητας, όπως παρουσιάζεται συνοπτικά στην Εικόνα 2.1.



Εικόνα 2.1: Κριτήρια κατηγοριοποίησης των διπλοκέλυφων κατασκευών

- Τύπος αερισμού

Ο τύπος του αερισμού αναφέρεται στην προέλευση της κινητήριας δύναμης που προκαλεί τον αερισμό του διακένου και διακρίνεται σε φυσικό, μηχανικό και υποστηριζόμενο με ανεμιστήρες μηχανισμό.

- Διαχωρισμός της πρόσοψης

Ο διαχωρισμός της κοιλότητας ανάμεσα στα υαλοστάσια, διακρίνει τα DSF σε έξι επιμέρους κατηγορίες.

  - Διπλό αεριζόμενο υαλοστάσιο (Ventilated Double Window)

Πρόκειται για υαλοστάσιο το οποίο περιβάλλεται εξωτερικά ή εσωτερικά από ένα επιπρόσθετο μονό υαλοστάσιο. Τα διπλά με φυσικό τρόπο αεριζόμενα υαλοστάσια είναι γνωστά ως «Box-windows» (Εικόνα 2.2 (1)).

  - Πρόσοψη διαχωρισμένη ανά επίπεδο (Facade per Storey Juxtaposed Modules)

Σε αυτό το είδος η πρόσοψη είναι φυσικά οριοθετημένη (οριζόντια ή κάθετα) ανάλογα με το ύψος της πρόσοψης που ορίζει το κάθε επίπεδο (Εικόνα 2.2 (2)).

  - Διπλή αεριζόμενη πρόσοψη τύπου «διάδρομος» (Corridor Type Ventilated Double Facade Partitioned per Storey)

Σε αυτό το είδος η πρόσοψη είναι οριοθετημένη ανά επίπεδο και διαθέτει μεγάλου πλάτους κοιλότητα η οποία λειτουργεί ως διάδρομο καθώς επιτρέπει την πρόσβαση για περπάτημα (Εικόνα 2.2 (3)).

- «Shaft- box» διπλή αεριζόμενη πρόσοψη («Shaft- Box» Ventilated Double Facade)

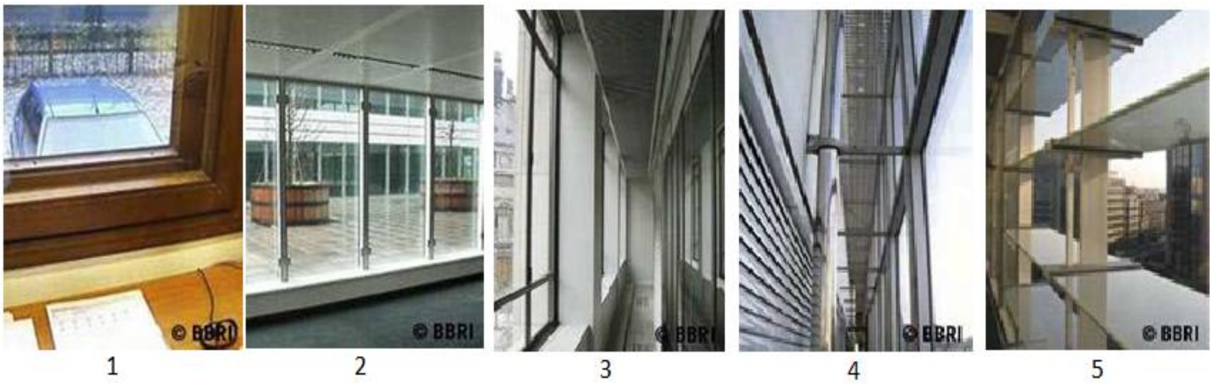
Με αυτό το είδος διαχωρισμού της κατασκευής προωθείται ο φυσικός αερισμός δημιουργώντας μεγάλη επίδραση του «stack effect» γι' αυτό και χρησιμοποιείται μόνο για φυσικώς αεριζόμενα DSF. Ουσιαστικά αυτός ο τύπος είναι μία εναλλαγή της διαχωρισμένης ανά επίπεδο πρόσοψης (Facade per Storey Juxtaposed Modules) με κατακόρυφους αγωγούς εξαερισμού οι οποίοι εκτείνονται σε πολλούς ορόφους. Η κάθε ενότητα DSF συνδέεται με έναν αγωγό μέσω του οποίου παρέχεται αέρας προς αυτά.

- Πολυώροφη διπλή αεριζόμενη πρόσοψη (Multi - Storey Ventilated Double Facade)

Η κοιλότητα σε αυτήν την περίπτωση κατασκευής απαντάται σε πολυώροφα κτήρια και δεν διαχωρίζεται οριζόντια ή κάθετα, συνεπώς δημιουργείται ένας μεγάλος ενιαίος πολυώροφος όγκος μεταξύ των κελύφων (Εικόνα 2.2 (4)). Το διάκενο είναι αρκετά μεγάλο ώστε να παρέχεται η δυνατότητα για περπάτημα πάνω στο μεταλλικό δάπεδο του κάθε ορόφου. Συνήθως η εν λόγω κατασκευή συσχετίζεται με φυσικό αερισμό, χωρίς να αποκλείεται και η περίπτωση του μηχανικού αερισμού ενώ παράλληλα η περίπτωση αυτή παρέχει το μεγάλο προτέρημα της εξαιρετικής ακουστικής. Το χαρακτηριστικό αυτό και μόνο μπορεί να αποτελέσει τον βασικότερο παράγοντα εφαρμογής μίας τέτοιας διπλοκέλυφης πρόσοψης ιδίως όταν πρόκειται για αστικά κέντρα με υψηλά επίπεδα εξωτερικού θορύβου.

- Πολυώροφη διπλή αεριζόμενη πρόσοψη με σύστημα περσίδων (Multi - Storey Louver Naturally Ventilated Double Facade)

Η κατηγορία αυτή μοιάζει αρκετά με την περίπτωση της πολυώροφης αεριζόμενης πρόσοψης, δηλαδή πάλι υπάρχει ένας μεγάλος ενιαίος πολυώροφος όγκος μεταξύ των κελύφων με μεταλλικό δάπεδο ανά όροφο για λόγους πρόσβασης. Η διαφορά έγκειται στο ότι η εξωτερική πρόσοψη απαρτίζεται αποκλειστικά από περιστρεφόμενες περσίδες αντί για μία συμβατική πρόσοψη με ανοίγματα ή μη (Εικόνα 2.2 (5)). Η εξωτερική πρόσοψη δεν είναι αεροστεγής ακόμα και αν οι περσίδες είναι κλειστές. (Schiefer, 2008)



Εικόνα 2.2: 1) Διπλό αεριζόμενο υαλοστάσιο, 2) Πρόσοψη διαχωρισμένη ανά επίπεδο, 3) Διπλή αεριζόμενη πρόσοψη τύπου "διάδρομος", 4) Πολυώροφη διπλή αεριζόμενη πρόσοψη, 5) Πολυώροφη διπλή αεριζόμενη πρόσοψη με σύστημα (Schiefer et al., 2008)

- Ροή αέρα της κοιλότητας

Η παράμετρος αυτή σχετίζεται με την προέλευση και τον προορισμό του αέρα που ανακυκλώνεται στο διάκενο, σαφώς εξαρτάται από τον μηχανισμό αερισμού και έτσι διακρίνονται οι ακόλουθες πέντε κατηγορίες.

- Εξωτερική κουρτίνα αέρα (Outdoor air curtain)

Στην περίπτωση αυτή εξωτερικός αέρας εισάγεται στο διάκενο και εξέρχεται πάλι προς στο εξωτερικό περιβάλλον. Ως εκ τούτου ο αερισμός της κοιλότητας δημιουργεί μία "κουρτίνα" αέρα που περιβάλλει την εξωτερική πρόσοψη (Εικόνα 2.7,(1)).

- Εσωτερική κουρτίνα αέρα (Indoor air curtain)

Αντίστοιχα με την προηγούμενη περίπτωση, αέρας από τον εσωτερικό χώρο του κτηρίου εισάγεται στο διάκενο και εισέρχεται πάλι προς το εσωτερικό του κτηρίου. Συνεπώς ο αερισμός της κοιλότητας δημιουργεί μία "κουρτίνα" αέρα που περιβάλλει την εσωτερική πρόσοψη (Εικόνα 2.7,(2)).

- Παροχή αέρα (Air supply)

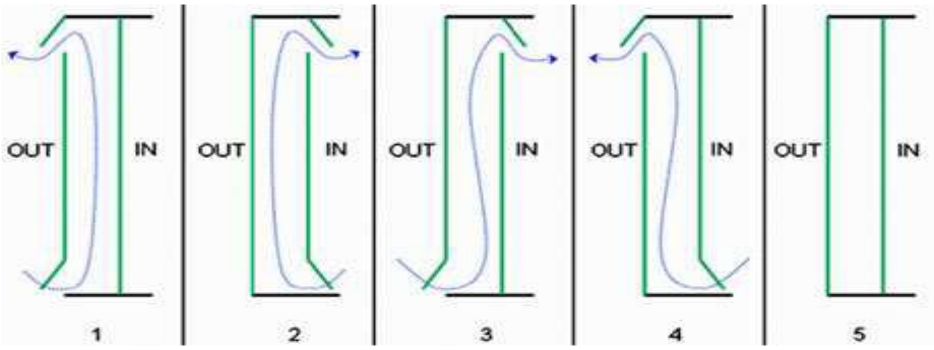
Αέρας από το εξωτερικό περιβάλλον εισάγεται στο διάκενο και εν συνεχεία εισέρχεται προς το εσωτερικό του κτηρίου ή στο σύστημα εξαερισμού (Εικόνα 2.7,(3)). Με αυτόν τον μηχανισμό αερισμού καθίσταται δυνατή η παροχή αέρα στο κτήριο.

- Εκκένωση αέρα (Air exhaust)

Αέρας από το εσωτερικό του κτηρίου εισάγεται στο διάκενο και εν συνεχεία εκκενώνεται στο εξωτερικό περιβάλλον (Εικόνα 2.7,(4)). Με αυτόν τον μηχανισμό αερισμού καθίσταται δυνατή η εκκένωση αέρα από το κτήριο, αντίθετα με προηγουμένως.

- Ουδέτερη ζώνη (Buffer zone)

Η ροή αέρα στην συγκεκριμένη περίπτωση καθίσταται δυνατή δεδομένου ότι τα δύο κελύφη της κατασκευής είναι αεροστεγή. Συνεπώς η κοιλότητα αποτελεί μία ουδέτερη ζώνη μεταξύ των δύο επιφανειών χωρίς να πραγματοποιείται κάποιο είδος εξαερισμού (Εικόνα 2.7,(5)) (Schiefer et al, 2008, Zhou, Chen, 2010, Waldner et al, 2007, Shimeri et al., 2011, Poirazis, 2004).



Εικόνα 2.3: Ροή αέρα στην κοιλότητα (Schiefer et al., 2008)

2.6 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα

Οι διπλοκέλυφες προσόψεις αποτελούν αδιαμφισβήτητα κατασκευές με πολλαπλά προτερήματα δεδομένου ότι έχουν σχεδιαστεί κατόπιν σωστής αξιολόγησης των συσχετιζόμενων παραμέτρων.

Οι διπλοκέλυφεις κατασκευές συνεισφέρουν καταλυτικά στην εξοικονόμηση ενέργειας κτηρίων με θερμό κλίμα εφόσον ετησίως μπορούν να μειώσουν την απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη κατά 26% (Chan et al., 2009), ιδίως όταν λειτουργούν με το βέλτιστο σχεδιασμό (Gratia & De Herde, 2004). Το κυριότερο πλεονέκτημα των DSF έναντι των συμβατικών μονοκέλυφων κατασκευών που διαθέτουν προσόψεις με υαλοπίνακες είναι η θερμομόνωση που επιτυγχάνεται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Κατά τους χειμερινούς μήνες ο εξωτερικό αέρας προθερμαίνεται προτού εισχωρήσει στο κυρίως κτήριο με αποτέλεσμα την μειωμένη απαίτηση θερμικών φορτίων το χειμώνα. Αντίστοιχα το καλοκαίρι, ο αέρας εξάγεται από ανοίγματα συνεπώς επιτυγχάνονται καλύτερα επίπεδα θερμοκρασιών και αποφεύγονται φαινόμενα υπερθέρμανσης (Poirazis, 2004). Εξίσου σημαντικός είναι ο νυχτερινός αερισμός ο οποίος μπορεί να πραγματοποιηθεί από τα εσωτερικά υαλοστάσια συνεπώς είναι ανεξάρτητος από τις καιρικές συνθήκες και άκρως αποτελεσματικός. Οι διπλοκέλυφες κατασκευές συμβάλλουν στην προστασία του περιβάλλοντος, ενισχύοντας τα παθητικά ηλιακά συστήματα παρέχοντας επιπρόσθετη ηλιοπροστασία με την χρήση συστημάτων σκίασης και λειτουργούν προστατευτικά σε περίπτωση έντονων καιρικών συνθηκών. Τα DSF ακόμα διαθέτουν το βασικό πλεονέκτημα της ηχομόνωσης εφόσον επιτυγχάνεται μείωση της μετάδοσης του εξωτερικού θορύβου, γεγονός άκρως σημαντικό σε κτήρια γραφείων που βρίσκονται στο κέντρο της πόλης (Heimrath et al., 2005). Επιτυγχάνεται επίσης φυσικός αερισμός ακόμα και αν υπάρχει μηχανική υποστήριξη, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες. Επιπλέον παρέχουν καλή ποιότητα εσωτερικού αέρα, ικανοποιητικά επίπεδα θερμικής και οπτικής άνεσης, συμβάλλοντας στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας του κτηρίου (Gratia & De Herde, 2004). Αξίζει να επισημανθεί ότι πρόκειται για μία κατασκευή υψηλής αισθητικής η οποία εκτός των άλλων δρα προστατευτικά σε περιπτώσεις διάρρηξης εξαιτίας του διπλού κελύφους που διαθέτει (Hashemia et al., 2010).

Σημαντικό μειονέκτημα των διπλοκέλυφων κατασκευών αποτελεί το υψηλό κόστος κατασκευής, σε συνδυασμό με το κόστος συντήρησης και λειτουργίας καθώς και η μείωση ωφέλιμης επιφάνειας του κτηρίου σε σχέση με μία συμβατή πρόσοψη. Στις κατασκευές με φυσικό αερισμό, τα ανοίγματα στο διάκενο πρέπει να εξασφαλίζουν επαρκή αερισμό, γεγονός δύσκολο σε περιπτώσεις άπνοιας. Μικρό πλάτος του διακένου καθιστά δύσκολη την συντήρηση της κατασκευής, ιδίως όταν υπάρχει σύστημα σκίασης. Στην περίπτωση που δεν εξασφαλίζεται ο τακτικός καθαρισμός των σκιάστρων μειώνεται η ορατότητα και τα επίπεδα οπτικής άνεσης. Προβλήματα μεταφοράς θορύβου μπορούν να παρουσιαστούν στην περίπτωση ανοιχτών παραθύρων σε διπλανά γραφεία ενώ η πυροπροστασία σε τέτοιες κατασκευές αποτελεί ένα σημείο σχεδόν ακόμα υπό διερεύνηση (Heimrath et al., 2005, Shameri et al., 2011, Poirazis, 2004). Τέλος, ένας σωστός σχεδιασμός χρήζει ιδιαίτερης σπουδαιότητας εφόσον όταν αυτός δεν έχει προηγηθεί τότε οι επιπτώσεις ενός διπλοκέλυφου κτηρίου στις ενεργειακές καταναλώσεις, μπορεί να είναι καταστροφικές (Gratia & De Herde, 2004, Gratia & De Herde, 2007).

2.7 Εφαρμογές

Υπάρχουν αρκετές και άκρως εντυπωσιακές εφαρμογές των διπλοκέλυφων προσόψεων σε παγκόσμια κλίμακα, κάποιες από τις οποίες παρουσιάζονται ενδεικτικά στη συνέχεια.

Στην Εικόνα 2.4 παρουσιάζεται η 22όροφη κατασκευή ενός διπλοκέλυφου πύργου στο Ντουμπάι (κατασκευασμένη από Reiser, Umemoto RUR Architecture P.C). Το εξωτερικό κέλυφος είναι κατασκευασμένο από παχύ σκυρόδεμα, ενώ η 1m πλάτους κοιλότητα που διαθέτει λόγω του σκυροδέματος έχει ως αποτέλεσμα την ψύξη του κτηρίου.

Εικόνα 2.4: Πύργος διπλού κελύφους από σκυρόδεμα στο Ντουμπάι (Sizzled Core)

Στην Εικόνα 2.5 παρουσιάζεται ένα διπλοκέλυφο κτήριο γραφείων στο Σαντιάγο, στη Χιλή (κατασκευασμένο από Murtinho y Asociados Arquitectos). Η διπλοκέλυφη πρόσοψη είναι κατασκευασμένη από είναι UV φίλτρο παρέχοντας άνεση στον εσωτερικό χώρο.

Εικόνα 2.5: Διπλοκέλυφο κτήριο γραφείων στη Χιλή με UV φίλτρο (Arnewde)

Στην Εικόνα 2.6 φαίνεται ένα βιώσιμα σχεδιασμένο διπλοκέλυφο ξενοδοχείο κατασκευασμένο το 2008 στο Χίθροου, της Αγγλίας (Dexter Moren Associates). Η διπλοκέλυφη πρόσοψη επιτρέπει τον έλεγχο του παθητικού ηλιακού συστήματος ενώ παράλληλα προσφέρει άριστη ηχομόνωση στην περιοχή κοντά στο αεροδρόμιο, όπου βρίσκεται. Οι κατάλληλα τοποθετημένες περσίδες μειώνουν τόσο τα θερμικά όσο τα ψυκτικά φορτία.

Εικόνα 2.6: Διπλοκέλυφο ξενοδοχείο στο Χίθροου με περσίδες (Dexter Moren Associates)

Στην Εικόνα 2.7 παρουσιάζεται το πρώτο πολυώροφο (29 όροφοι) διπλοκέλυφο κτήριο γραφείων στο Σύδνεϋ της Αυστραλίας το οποίο ολοκληρώθηκε το 2011. Διαθέτει 0.6m διάκενο, χώρος επαρκής ώστε να υπάρχει πρόσβαση για συντήρηση των περσίδων που υπάρχουν.

Εικόνα 2.7: Διπλοκέλυφο κτήριο γραφείων στο Σύδνεϋ (Facility Management)

Σε σχέση με τις υπόλοιπες χώρες της Ευρώπης, η Ελλάδα έχει να αναδείξει ένα περιορισμένο αριθμό διπλοκέλυφων κατασκευών κυρίως λόγω έλλειψης τεχνογνωσίας και υψηλού κόστους που συνεπάγεται μία τέτοια κατασκευή. Η πιο παλιά από τις διπλοκέλυφες προσόψεις κατασκευάστηκε το 1996 στο Κιλκίς με διάκενο 0.15m στην ανατολική πρόσοψη κτηρίου γραφείων και υποστηρίζεται με φυσικό αερισμό (Φάρου, Δομικά Υλικά). Άλλο παράδειγμα τέτοιας κατασκευής είναι το κτήριο της εταιρείας Toi&Moi στην Εθνική οδό Αθηνών-Λαμίας το οποίο διαθέτει περιστρεφόμενο σύστημα σκιασμού υάλινων περσίδων στο εξωτερικό κέλυφος και διάκενο 1m, υποστηριζόμενο με φυσικό αερισμό (Εικόνα 2.8, 1). Πιο συγκεκριμένα, το εσωτερικό υαλοπέτασμα του κτηρίου διαθέτει μεγάλο κάνναβο ενώ η στήριξη των υαλοπινάκων πραγματοποιήθηκε με προφίλ αλουμινίου. Η κίνηση των εξωτερικών περσίδων επιτρέπει την εκμετάλλευση του διακένου ανάλογα με τα καιρικά δεδομένα. Κατά την χειμερινή περίοδο, οι περσίδες παραμένουν κλειστές, συνεπώς γίνεται συλλογή θερμότητας εντός του διακένου. Από την άλλη, κατά την καλοκαιρινή περίοδο, οι περσίδες ανοίγουν για να παρέχουν σκιασμό όταν αυτό είναι επιθυμητό και παύει να λειτουργεί ως θερμοσυσσωρευτής εξαιτίας των ανοιγμάτων που υπάρχουν. Και στις δύο περιπτώσεις οι ενεργειακές καταναλώσεις περιορίζονται σημαντικά ενώ παράλληλα το διπλό κέλυφος λόγω του επιπρόσθετου τοιχώματος, αποτελεί ηχομονωτική ασπίδα κατάλληλη ώστε να μειώσει κατά 20db τον θόρυβο σε σχέση με ένα συμβατικό υαλοπέτασμα (ALUMIL, 2010).

Το νέο κτήριο της τεχνικής εταιρείας R.C.TECH αποτελεί ένα πρότυπο βιοκλιματικού κτηρίου καθώς στη νότια του πρόσοψη διαθέτει διπλό αεριζόμενο κέλυφος με μικρό διάκενο ώστε να αποτρέπεται η υπερθέρμανση του κτηριακού κελύφους (Εικόνα 2.8, 2). Επιπλέον, στη βόρεια πρόσοψη το διπλό κέλυφος είναι κλειστό κατά την χειμερινή περίοδο, λειτουργώντας ως ανεμοθραύστης των βόρειων ανέμων ενώ κατά την καλοκαιρινή περίοδο η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ανακλάται μειώνοντας την θερμική εκπομπή. Επιπρόσθετα βιοκλιματικά στοιχεία ενσωματώθηκαν στην δυτική όψη του κτηρίου και συγκεκριμένα τα υαλοστάσια προστατεύονται από σύστημα ελεγχόμενης ηλιοπροστασίας περιστρεφόμενων περσίδων αλουμινίου, ατρακτοειδούς διατομής. Έτσι υπολογιστική διάταξη καθοδηγεί την κίνηση των περσίδων ανά πάσα στιγμή ανάλογα με την κίνηση του ηλίου (ALUMIL, 2010).

Εικόνα 2.8: 1) Διπλοκέλυφη κατασκευή κτηρίου Toi&Moi, Αθήνα, 2) Διπλοκέλυφη κατασκευή κτηρίου R.C.TECH, Αθήνα (ALUMIL, 2010)

Κεφάλαιο 3 : Ενεργειακή επιθεώρηση υπό μελέτη κτηρίου

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μία εκτενής περιγραφή του υπό μελέτη κτηρίου σύμφωνα με επί τόπου επισκέψεις που πραγματοποιήθηκαν στο κτήριο και δεδομένα που δόθηκαν από την Τεχνική Υπηρεσία του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η περιγραφή περιλαμβάνει όλο το σύνολο του κτηρίου, δηλαδή γενικά χαρακτηριστικά, πληροφορίες για το κτηριακό κέλυφος αλλά και για τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης που υπάρχουν στο κτήριο. Τα δεδομένα που ακολουθούν παρατίθενται από έντυπο ενεργειακής επιθεώρησης που συμπληρώθηκε.

3.2 Γενική περιγραφή του κτηρίου

Το κτήριο βρίσκεται στην Πολυτεχνειούπολη στο Δήμο Ακρωτηρίου του Νομού Χανίων συνεπώς ανήκει στην κλιματική ζώνη Α' (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010) και έχει χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερη αρχιτεκτονική (Εικόνα 3.1). Η συνολική έκταση του οικοδομήματος είναι 18147m^2 και διαθέτει έως και 6 ορόφους, δηλαδή υπόγειο, ισόγειο, 1^{ο}, 2^{ο}, 3^{ο} και 4^{ο} όροφο. Το κτήριο δημοπρατήθηκε το καλοκαίρι του 1993 ενώ η κατασκευή του ολοκληρώθηκε τον Δεκέμβριο του 2009 και παραδόθηκε ώστε να αξιοποιηθεί από το Γενικό Τμήμα και από το Τμήμα των Ηλεκτρονικών Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Εικόνα 3.1: Κτήριο Επιστημών (Πηγή: Google Earth)

Το υπόγειο διατίθεται για την φύλαξη του Ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, ενώ οι υπόλοιποι όροφοι διαθέτουν κατά κύριο λόγο γραφεία καθηγητών και φοιτητών καθώς και εργαστήρια τα οποία διαθέτουν κυρίως ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Στο ισόγειο και στον 2ο όροφο του κεντρικού κτηρίου υπάρχουν δύο αίθουσες διδασκαλίες ενώ στον 1ο όροφο υπάρχει φουαγιέ.

3.3 Ενεργειακή επιθεώρηση στο κτήριο

3.3.1 Περιγραφή Κτηρίου

Γύρω από το κτήριο υπάρχει αραιή βλάστηση, το σύστημα δόμησής του είναι πανταχόθεν ελεύθερο ενώ η πρόσοψη του κτηρίου είναι Βορειοδυτικού προσανατολισμού. Το κτήριο διαθέτει δύο πτέρυγες, την πτέρυγα Α' Δυτικού προσανατολισμού (Εικόνα 3.2, 1) και την πτέρυγα Β' Ανατολικού προσανατολισμού οι οποίες διαθέτουν υπόγειο, ισόγειο, 1ο και 2ο όροφο. Οι δύο πτέρυγες ενώνονται μεταξύ τους με ένα εξαώροφο κεντρικό (υπόγειο έως και 4ος όροφος) κτήριο το οποίο διαθέτει και αίθριο χώρο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.2, 2.

Εικόνα 3.2: 1) Α' πτέρυγα και 2) Αίθριος χώρος Κτηρίου Επιστημών, Πολυτεχνείου Κρήτης

Το κτήριο που μελετάται χαρακτηρίζεται από μία ιδιαίτερη γεωμετρία λόγω της περίπλοκης αρχιτεκτονικής που διαθέτει. Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται αναλυτικά οι επιφάνειες ανά όροφο. Το συνολικό εμβαδόν του κτηρίου είναι 18147m^2 ενώ ο συνολικός όγκος ανέρχεται στα 67704m^3.

Το κτήριο διαθέτει δώμα τόσο στο υψομετρικό επίπεδο +149m όσο και στο +155m. Παρ' ότι στο επίπεδο +149m η επιφάνεια του δώματος είναι περίπου 4185m^2, ελεύθερη θεωρείται μόνο η επιφάνεια των 800m^2 αυτού λόγω της ύπαρξης εξωτερικών μονάδων του συστήματος θέρμανσης και ψύξης του κτηρίου. Αντίστοιχα η στάθμη +155m δεν διαθέτει κλιματιστικές μονάδες, συνεπώς είναι σχεδόν εξ' ολοκλήρου αξιοποιήσιμη. Το δώμα του κτηρίου δεν σκιάζεται από γύρω κτήρια ή δέντρα καθ' ότι είναι πανταχόθεν ελεύθερο. Το υπόγειο είναι μη θερμαινόμενος - ψυχόμενος χώρος, συνεπώς το εμβαδόν των θερμαινόμενων - ψυχόμενων χώρων του κτηρίου είναι 14081m^2 ενώ ο όγκος των θερμαινόμενων - ψυχόμενων χώρων του κτηρίου είναι 55506m^3.

Πίνακας 3.1: Εμβαδομετρήσεις τμημάτων του υπό μελέτη κτηρίου

Όροφοι	Υψομετρική στάθμη	Ύψος ορόφου	Επιφάνεια (m^2)	Όγκος ορόφου (m^3)	Επιφάνεια δώματος (m^2)	Ελεύθερη επιφάνεια δώματος (m^2)
Υπόγειο	(+134m)	3	4066	12198		
Ισόγειο	(+137m)	4	4580	18320		
1^{ος} όροφος	(+141m)	4	4356	17424		
2^{ος} όροφος	(+145m)	4	4327	17308		
3^{ος} όροφος-Δώμα πτερύγων	(+149m)	3	415	1245	4185	800
4^{ος} όροφος	(+152m)	3	403	1209		
Στάθμη πυρήνα	(+155m)	3			990	990
Σύνολο			**18147**	**67704**	**5914**	**5274**

Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζεται προσεγγιστικά η λειτουργία του κτηρίου.

Πίνακας 3.2: Λειτουργία του κτηρίου

Ημέρα της Εβδομάδας	Ωράριο Λειτουργίας	Αριθμός Εργαζομένων	Αριθμός Επισκεπτών
Εργάσιμες Ημέρες (Δευτέρα - Παρασκευή)	Πλήρης Λειτουργία: 8^{00} - 14^{00} Μερική Λειτουργία: 14^{00} - 20^{00}	Πλήρης Λειτουργία: 50 Μερική Λειτουργία: 20	Πλήρης Λειτουργία: 100 Μερική Λειτουργία: 50
Σάββατα	Κλειστά	Ελάχιστοι	Ελάχιστοι
Κυριακές και Αργίες	Κλειστά	-	-

3.3.2 Περιγραφή Κτηριακού Κελύφους

Το κτήριο που μελετάται είναι θερμικά μονωμένο. Τα υλικά της εξωτερικής τοιχοποιίας είναι από μέσα προς τα έξω, διπλή γυψοσανίδα, μόνωση πετροβάμβακα, οπλισμένο σκυρόδεμα και τέλος επίχρισμα, ενώ στην οροφή υπάρχει θερμομονωτικό στρώμα πολυστερίνης, ασφαλτικά φύλλα και ελαφροσκυρόδεμα. Το δάπεδο επί φυσικού εδάφους αποτελείται από μάρμαρο, τσιμέντο, οπλισμένο σκυρόδεμα και μόνωση πολυαιθυλενίου. Επιπλέον, το ενδιάμεσο δάπεδο μεταξύ των γραφείων αποτελείται από γυψοσανίδα, κενό αέρα, οπλισμένο σκυρόδεμα, κονίαμα και πλακίδιο ενώ για το ενδιάμεσο δάπεδο στον χώρο κίνησης υπάρχει ίδια τοιχοποιία με την διαφορά ότι αντί για πλακίδιο υπάρχει ξύλο (Πίνακας 3.3).

Πίνακας 3.3: Χαρακτηριστικά κτηριακού κελύφους

Στρώματα (έξω προς μέσα)	Πάχος Στρώματος (m)	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (W/m K)	Πυκνότητα (kg/m^3)	Ειδική θερμοχωρητικότητα (J/kg K)
Εξωτερική τοιχοποιία				
Επίχρισμα	0.015	1.4	2000	1000
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0.3	2.4	2350	1000
Πετροβάμβακας	0.05	0.037	115	840
Γυψοσανίδα	0.015	0.21	700	1000
Γυψοσανίδα	0.015	0.21	700	1000
Εσωτερική τοιχοποιία				
Γυψοσανίδα	0.015	0.21	700	1000
Διάκενο αέρα	0.04	0.025	1.23	1008
Γυψοσανίδα	0.015	0.21	700	1000
Ενδιάμεσο δάπεδο μεταξύ γραφειακών χώρων				
Γυψοσανίδα	0.015	0.21	700	1000
Διάκενο αέρα	0.5	0.025	1.23	1008
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0.18	2.4	2350	1000
Κονίαμα	0.015	1.4	2000	1100
Κεραμικό πλακίδιο	0.01	1.84	2000	840
Ενδιάμεσο δάπεδο μεταξύ χώρων κίνησης				
Γυψοσανίδα	0.015	0.21	700	1000
Διάκενο αέρα	0.5	0.025	1.23	1008
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0.18	2.4	2350	1000
Κονίαμα	0.015	1.4	2000	1100
Ξύλο	0.01	0.13	500	1600
Δάπεδο επί φυσικού εδάφους				
Μόνωση Astrofoil	0.01	0.034	950	2000
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0.18	2.4	2350	1000
Επίχρισμα	0.015	1.4	2000	1000
Μάρμαρο	0.02	3.5	2800	1000
Δώμα				
Κονίαμα	0.015	1.4	2000	1100
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0.08	2.4	2350	1000
Θερμομονωτικό υλικό Διογκωμένη πολυστερίνη	0.08	0.035	25	1450
Ασφαλτικά φύλλα (Ασφαλτόπανα)	0.006	0.23	1100	1000
Ελαφροσκυρόδεμα	0.1	0.38	1200	1000
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0.18	2.4	2350	1000

Υπολογίστηκαν οι συντελεστές θερμοπερατότητας των αδιαφανών δομικών στοιχείων του κτηρίου, σύμφωνα με την σχέση $U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^{n} \frac{d_j}{\lambda_j} + R_\delta + R_\alpha}$,

όπου:

U [W/(m^{2}K)]: συντελεστής θερμοπερατότητας δομικού στοιχείου

n [-]: πλήθος στρώσεων δομικού στοιχείου

d [m]: πάχος στρώσης δομικού στοιχείου

λ [W/(m K)]: συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της κάθε στρώσης

R_δ [m^{2}K/W]: θερμική αντίσταση στρώματος αέρα σε τυχόν υφιστάμενο διάκενο ανάμεσα στις στρώσεις του δομικού στοιχείου, με την προϋπόθεση ότι ο αέρας του διακένου δεν επικοινωνεί με το εξωτερικό περιβάλλον και θεωρείται πρακτικά ακίνητος

R_i [m^{2}K/W]: αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο

R_α [m^{2}K/W]: αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010).

Οι παραπάνω τιμές από τους Πίνακες 3β και 4α των Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010 για την εκάστοτε περίπτωση. Συνεπώς προέκυψε ο Πίνακας 3.4 που ακολουθεί.

Πίνακας 3.4: Υπολογισμός συντελεστή θερμοπερατότητας των αδιαφανών στοιχείων του κτηρίου

Στρώματα (έξω προς μέσα)	Αντίσταση θερμοδιαφυγής δομικού στοιχείου 1/Λ (m^2K/W)	Συντελεστής θερμοπερατότητας δομικού στοιχείου U ($W/(m^2K)$)
Εξωτερική τοιχοποιία		
Επίχρισμα	0.0107	0.555
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0.125	
Πετροβάμβακας	1.351	
Γυψοσανίδα	0.071	
Γυψοσανίδα	0.071	
Σύνολο	1.629	
Εσωτερική τοιχοποιία		
Γυψοσανίδα	0.0714	0.484
Διάκενο αέρα	1.6	
Γυψοσανίδα	0.0714	
Σύνολο	1.74285	
Ενδιάμεσο δάπεδο μεταξύ γραφειακών χώρων		
Γυψοσανίδα	0.07142	0.048
Διάκενο αέρα	20	
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0.075	
Κονίαμα	0.01071	
Κεραμικό πλακίδιο	0.00543	
Σύνολο	20.162	
Ενδιάμεσο δάπεδο μεταξύ χώρων κίνησης		
Γυψοσανίδα	0.07142	0.048
Διάκενο αέρα	20	
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0.075	
Κονίαμα	0.010	
Ξύλο	0.0769	
Σύνολο	20.23	
Δάπεδο επί φυσικού εδάφους		
Μόνωση Astrofoil	0.25	1.8
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0.075	
Επίχρισμα	0.01071	
Μάρμαρο	0.00571	
Σύνολο	0.1164	
Οροφή		
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0.033	0.350
Θερμομονωτικό υλικό	0.033	
Διογκωμένη πολυστερίνη	2.285	
Ασφαλτικά φύλλα	0.0260	
Ελαφροσκυρόδεμα	0.2631	
Οπλισμένο σκυρόδεμα	0.075	
Σύνολο	2.7166	

Οι υαλοπίνακες είναι διπλοί με διάκενο αέρα 12mm και διαθέτουν πλαίσια αλουμινίου. Το ποσοστό των ανοιγμάτων επί των όψεων εκτιμήθηκε περίπου 30%. Τα γραφεία διαθέτουν σύστημα σκιασμού ανοιγμάτων με εσωτερικά σκίαστρα, ο τύπος των οποίων είναι περσίδες.

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας των ανοιγμάτων U (W/m^2K), ο οποίος είναι ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας τόσο για τον υαλοπίνακα όσο και για το πλαίσιο, αναζητήθηκε από τα δεδομένα της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010. Σύμφωνα με την §3.2.3, Πίνακα 3.12, προέκυψε ο συνολικός συντελεστής θερμοπερατότητας των ανοιγμάτων, δεδομένου του είδους και ποσοστού του πλαισίου καθώς επίσης και του είδους του υαλοπίνακα που διαθέτει το άνοιγμα, ίσος με $3.7 W/m^2K$.

Εν γένει, οι τιμές των συντελεστών θερμικής αγωγιμότητας των δομικών στοιχείων του κτηρίου, ικανοποιούνται από τις μέγιστες τιμές συντελεστών που τίθενται σύμφωνα με τον Πίνακα 6, της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010 για την Α' Κλιματική ζώνη της Ελλάδας.

3.3.3 Περιγραφή Συστήματος Κλιματισμού

Το κτήριο διαθέτει τρία διαφορετικά συστήματα κλιματισμού, ο συνδυασμός των οποίων καλύπτει τις ανάγκες του κτηρίου για ψύξη. Τα συστήματα κλιματισμού είναι το all air system, τα FCUs (Fan Coil Units) με προκλιματισμένο αέρα καθώς και το σύστημα VRV (Variable Refrigerant Volume) με στοιχεία φρέον σε συνδυασμό με τις μονάδες προκλιματισμού.

3.2.3.1 Σύστημα All Air

Το σύστημα all air χρησιμοποιείται ευρέως σε μεσαία ή μεγάλα συστήματα κλιματισμού, όπως κτήρια γραφείων ή δημόσια κτήρια και με αυτό το σύστημα ο κλιματισμός των χώρων γίνεται μόνο με τον προσαγόμενο κλιματισμένο αέρα. Οι βασικότερες συσκευές στο σύστημα είναι η Κεντρική Κλιματιστική Μονάδα (ΚΚΜ), το δίκτυο αεραγωγών με τα στόμια αέρα και το σύστημα παραγωγής κρύου / ζεστού νερού. Η βασική έννοια του εν λόγω συστήματος είναι ότι παρέχεται αέρας σε συνθήκες τέτοιες ώστε τα κέρδη της αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας από τον αέρα που απορροφάται, να τον καθιστούν στις επιθυμητές συνθήκες δωματίου (ASHRAE Handbook - Fundamentals, 2008, Chapter 4).

Το σύστημα all air τροφοδοτεί το αμφιθέατρο, το φουαγιέ, τους βοηθητικούς χώρους του αμφιθεάτρου, τις αίθουσες του κεντρικού κτηρίου στο ισόγειο και στον 2^o όροφο.

3.2.3.2 Σύστημα FCUs

Τα FCUs (Fan Coil Units) είναι σώματα νερού εφοδιασμένα με ανεμιστήρα, ένα πηνίο θέρμανσης ή ψύξης, φίλτρο και σωλήνες ενώ συνήθως συνδέονται με ένα θερμοστάτη για διατήρηση της θερμοκρασίας του χώρου σε σταθερά επίπεδα. Έχουν την δυνατότητα να παρέχουν είτε ψύξη είτε θέρμανση, μετακινώντας αέρα μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο ή ακόμα και εισάγοντας εξωτερικό αέρα εξαερισμού. Μπορούν να τοποθετηθούν σε διάφορες διατάξεις ανάλογα με τον χώρο, κάθετα στο δάπεδο ή οριζόντια στην οροφή πετυχαίνοντας αφύγρανση και συμπληρωματική ψύξη. Ο ανεμιστήρας ανακυκλοφορεί αέρα από τον χώρο μέσα από το πηνίο, το οποίο περιέχει είτε ζεστό είτε ψυχρό νερό (ASHRAE Handbook- Fundamentals, 2008, Chapter 5).

Στο κτήριο επιστημών είναι εγκατεστημένα FCUs δαπέδου τα οποία σε συνδυασμό με τον προκλιματισμένο αέρα τροφοδοτούν τους διαδρόμους κυκλοφορίας και τους γραφειακούς χώρους του κεντρικού κτηρίου, έχοντας εγκατεστημένη ισχύ 306kW (Πίνακας 3.5). Στους διαδρόμους κυκλοφορίας η αναρρόφηση αέρα γίνεται από το κάτω μέρος, μέσω τεσσάρων επιτοίχιων στομίων σε κάθε επίπεδο ενώ στους γραφειακούς χώρους γίνεται μέσω στομίων οροφής και αεραγωγών που καταλήγουν στις κεντρικές μονάδες προκλιματισμού.

Πίνακας 3. 5: Κλιματιστικές μονάδες FCUs στο Κτήριο Επιστημών (Interklima)

Τύπος	Τεμάχια	Ισχύς (W)	Εγκατεστημένη Ισχύς (W)
FCU300	4	2430	9720
FCU400	6	3240	19440
FCU600	5	4860	24300
FCU800	39	6480	252720
			306180

3.2.3.3 Σύστημα VRV

Το σύστημα VRV (Variable Refrigerant Volume) ή VRF (Variable Refrigerant Flow) είναι ένα σύστημα κλιματισμού που λειτουργεί με ψυκτικό μέσο μεταβλητού όγκου. Μια εγκατάσταση θέρμανσης - ψύξης χώρων με VRV αποτελείται από αντλία θερμότητας με συμπιεστή τεχνολογίας inverter, εσωτερικές μονάδες χώρων, δίκτυο σωληνώσεων για την κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου φρέον καθώς και δίκτυο απορροής των συμπυκνωμάτων των εσωτερικών μηχανημάτων. Η εξωτερική μονάδα του συστήματος έχει την δυνατότητα να συνδέεται μέσω ενός ενιαίου συστήματος ψυκτικών σωληνώσεων με μεγάλο αριθμό εσωτερικών μονάδων. Η λειτουργία του συστήματος στηρίζεται στην δυνατότητα του μετατροπέα inverter να λειτουργεί με μεταβαλλόμενο αριθμό στροφών ανάλογα με τις απαιτήσεις των χώρων. Το VRV διαθέτει μια θερμοεκτονωτική βαλβίδα με σκοπό να προσαρμόζει συνεχώς τον όγκο του ψυκτικού υγρού στις μεταβολές του εκάστοτε φορτίου των εσωτερικών μονάδων. Συνεπώς είναι εφικτός ο ανεξάρτητος κλιματισμός σε κάθε χώρο εφόσον μπορεί να καταναλώνεται ενέργεια μόνο για τους χώρους των οποίων οι εσωτερικές μονάδες λειτουργούν (ASHRAE Handbook- Fundamentals, 2008, Chapter 48).

Όλοι οι χώροι στις πτέρυγες Α και Β του κτηρίου κλιματίζονται μέσω αυτόνομων VRV κλιματιστικών μονάδων οι οποίες λειτουργούν με αντλία θερμότητας και περιλαμβάνουν μία εξωτερική και περισσότερες εσωτερικές μονάδες. Οι εσωτερικές μονάδες είναι κυρίως τοποθετημένες στην ψευδοροφή και πλην κάποιων εξαιρέσεων συνδέονται με τις εξωτερικές μονάδες μέσω δισωλήνιου δικτύου ψυκτικού μέσου. Είναι 212 σε αριθμό και έχουν εγκατεστημένη ισχύ 979kW. Επιπλέον, υπάρχουν 29 εξωτερικές μονάδες VRV τοποθετημένες στο δώμα των πτερύγων (15 στην πτέρυγα Α και 14 στην πτέρυγα Β) με ψυκτική ισχύ 28kW η κάθε μία, οπότε η εγκατεστημένη ισχύς που προκύπτει για τους χώρους που κλιματίζονται από το σύστημα VRV είναι 878kW. Ο νωπός αέρας μεταφέρεται μέσω μονωμένου δικτύου αεραγωγών το οποίο συνδέεται μέσω αεραγωγών στο πίσω μέρος των εσωτερικών μονάδων VRV.

Στο δώμα του κεντρικού κτηρίου είναι τοποθετημένα δύο αερόψυκτα συγκροτήματα αντλιών θερμότητας με ψυκτική ισχύ 610kW το κάθε ένα και είναι ικανά να καλύψουν τόσο το ψυκτικό όσο και το θερμικό φορτίο αιχμής του κεντρικού κτηρίου αλλά και το συνολικό φορτίο αερισμού των δύο πτερύγων, τροφοδοτώντας με ψυχρό/ θερμό νερό τις Κεντρικές Κλιματιστικές Μονάδες και τα FCUs. .

Το σύστημα κλιματισμού έχει τη δυνατότητα να ικανοποιήσει ακόμα και τις ανάγκες του κτηρίου για θέρμανση, εγκαταστάθηκε το 2007, λειτουργεί από το 2009 με συνολική εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος κλιματισμού είναι 1184kW. Η εκτίμηση των ενεργειακών καταναλώσεων του κτηρίου τόσο για θέρμανση όσο και ψύξη καθίσταται ιδιαιτέρως δύσκολη καθ' ότι τα τιμολόγια της Δ.Ε.Η. αναφέρονται συνολικά σε ολόκληρη την Πολυτεχνειούπολη Χανίων, συνεπώς δεν είναι εφικτός ο επιμερισμός των καταναλώσεων για το υπό μελέτη κτήριο.

3.3.4 Περιγραφή Συστήματος Θέρμανσης

Το ζεστό νερό θέρμανσης χώρου παράγεται μέσω των αντλιών θερμότητας που χρησιμοποιούνται και για την κάλυψη αναγκών ψύξης, όπως περιγράφηκε παραπάνω. Εγκαταστάθηκαν το 2007, λειτουργούν από το 2009 και χρησιμοποιούν ρεύμα για τη λειτουργία τους και χαρακτηρίζονται από συνολική εγκατεστημένη ισχύ 1184kW. Το ζεστό νερό θέρμανσης χώρου δεν παράγεται μέσω ηλιακών συλλεκτών. Επιπλέον, δεν είναι διαθέσιμη η ετήσια κατανάλωση καυσίμου για ζεστό νερό θέρμανσης χώρου καθ' ότι όταν διεξήχθη η επί τόπου επίσκεψη δεν είχε συμπληρωθεί ολόκληρο έτος λειτουργίας.

3.3.5 Περιγραφή Συστήματος Θέρμανσης ΖΝΧ

Για τις ανάγκες ζεστού νερού χρήσης του κτηρίου χρησιμοποιούνται δύο παρασκευαστήρες ζεστού νερού χωρητικότητας 1000L ο καθένας, οι οποίοι εγκαταστάθηκαν το 2007, ξεκίνησαν να λειτουργούν το έτος 2009 και έχουν εγκατεστημένη ισχύ 36kW. Το ΖΝΧ παράγεται μέσω ηλιακών συλλεκτών οι οποίοι τροφοδοτούν τους παρασκευαστήρες, βρίσκονται στο δώμα του κτηρίου και καταλαμβάνουν έκταση $40m^2$.

3.3.6 Ηλεκτρικά φορτία

Στο σύνολο του κτηρίου υπάρχουν διάφοροι τύποι φωτιστικών σωμάτων ανάλογα με το χώρο στον οποίο βρίσκονται και έχουν συνολική εγκατεστημένη ισχύ 217.5kW. Στον Πίνακα Α.1 του Παραρτήματος Α παρουσιάζεται ο τύπος των φωτιστικών σωμάτων ανά χώρο και επίπεδο.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι γραφειακοί χώροι στις δύο πτέρυγες διαθέτουν φωτιστικά φθορισμού ψευδοροφής χαμηλής θάμβωσης με περσίδες ισχύος 54W και 72W, δηλαδή σε συστοιχίες των 3 και 4 λαμπτήρων αντίστοιχα με ισχύ 18W. Οι χώροι κίνησης και τα WC διαθέτουν φωτιστικά φθορισμού ψευδοροφής σε συστοιχίες των 2 λαμπτήρων από 26W, συνολικής ισχύος 52W ενώ οι σκάλες διαθέτουν φωτιστικά τοίχου με λαμπτήρα φθορισμού, ισχύος 26W. Γύρω από την κυκλική κατασκευή του κεντρικού κτηρίου, υπάρχουν φωτιστικά φθορισμού οροφής με περσίδες ισχύος 36W (μονός λαμπτήρας με ισχύ 36W) ενώ στις αίθουσες διδασκαλίας και στο φουαγιέ υπάρχουν φωτιστικά φθορισμού ψευδοροφής 52W (συστοιχίες 2 λαμπτήρων PLC των 26W). Όσον αφορά στο υπόγειο, υπάρχουν κυρίως φωτιστικά φθορισμού ισχύος 116W (συστοιχίες των 2 λαμπτήρων με ισχύ 58W).

Λόγω της ύπαρξης πολλών γραφειακών και εργαστηριακών χώρων, το κτήριο διαθέτει σημαντικό ηλεκτρικό εξοπλισμό, ο οποίος κατά κύριο λόγο περιλαμβάνει ηλεκτρονικούς υπολογιστές, εκτυπωτές και δευτερευόντως οικιακές συσκευές όπως συσκευές τηλεφώνου, καφετιέρες, τοστιέρες. Με δεδομένη ισχύ ηλεκτρονικού υπολογιστή 180W και εκτυπωτή 15W, η συνολική ισχύς του κτηρίου εκτιμήθηκε 44.2kW (Πίνακας 3.6). Στον υπολογισμό αυτό δεν λήφθηκε υπόψη ο εργαστηριακός εξοπλισμός (κλίβανοι, εξειδικευμένα μηχανήματα) ούτε και οικιακές συσκευές (καφετιέρες, τοστιέρες) λόγω της μικρής συχνότητας εμφάνισης στο κτήριο και της μικρής κατανάλωσης ισχύος στην συνολική εικόνα καταναλώσεων του κτηρίου.

Πίνακας 3.6: Ηλεκτρικός εξοπλισμός Κτηρίου Επιστημών

Όροφος	Ηλεκτρονικοί Υπολογιστές		Εκτυπωτές	
	Αριθμός	Ισχύς (W)	Αριθμός	Ισχύς (W)
Ισόγειο	71	12780	10	150
1ος	86	15480	22	330
2ος	83	14940	38	570
3ος	1	180	1	15
4ος	1	180	1	15
Σύνολο		**43200**		**1050**

Το κτήριο δεν διαθέτει σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας στο φωτισμό (φωτοκύτταρα, αυτοματισμοί ελέγχου). Επιπλέον, υπάρχουν φωτιστικά στους χώρους κυκλοφορίας (διαδρόμους), στους εξωτερικούς χώρους του κτηρίου και στους χώρους στάθμευσης που λειτουργούν πέραν της λειτουργίας του κτηρίου, δηλαδή καθ' όλη τη διάρκεια της νύχτας. Υπάρχουν ηλεκτρικές συσκευές όπως ηλεκτρονικοί υπολογιστές και εργαστηριακά μηχανήματα που ανά διαστήματα λειτουργούν πέραν της λειτουργίας του κτηρίου για ερευνητικούς σκοπούς κατά τη διάρκεια όλου του 24ώρου.

3.3.7 Συστήματα ΑΠΕ

Το κτήριο επιστημών διαθέτει συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών του σε ΖΝΧ όπως προαναφέρθηκε και συγκεκριμένα ηλιακοί συλλέκτες 40m^2. Ωστόσο δεν υπάρχουν φωτοβολταϊκά πλαίσια, συστήματα βιομάζας και γεωθερμίας στο κτήριο.

3.4 Ενεργειακή κατανάλωση κτηρίου

Το κτήριο για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια (ηλεκτρικό ρεύμα). Η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για απαιτήσεις του κτηρίου σε φωτισμό, για τη λειτουργία ηλεκτρονικών υπολογιστών και συναφών μηχανημάτων όπως, εκτυπωτών, σαρωτών, φωτοτυπικών καθώς και για τη λειτουργία οικιακών συσκευών όπως ψυγεία, καφετιέρες. Επιπλέον, ικανοποιούνται οι ανάγκες του κτηρίου για θέρμανση - ψύξη καθώς επίσης και για εργαστηριακές ανάγκες όπως κλίβανοι, μηχανήματα εργαστηρίου.

3.4.1 Κατανάλωση ενέργειας για φωτισμό

Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας για τις ανάγκες του φωτισμού εκτιμήθηκε σύμφωνα με τις ώρες λειτουργίας των φωτιστικών σωμάτων ανάλογα με την χρήση του κάθε χώρου κτηρίου, όπως παρουσιάζεται στους Πίνακες Α.1 και Α.2 του Παραρτήματος Α. Εξάγεται, λοιπόν το συμπέρασμα ότι ετησίως καταναλώνονται 406543kWh ή εναλλακτικά 22.4kWh/m^2 του κτηρίου ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες του κτηρίου για φωτισμό.

3.4.2 Κατανάλωση ενέργειας από ηλεκτρικό εξοπλισμό

Στους Πίνακες 3.7 και 3.8 παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις ενεργειακών καταναλώσεων από το βασικό ηλεκτρικό εξοπλισμό των γραφείων του υπό μελέτη κτηρίου, δηλαδή Ηλεκτρονικούς Υπολογιστές και μηχανήματα εκτυπωτών.

Πίνακας 3.7: Εκτίμηση ενεργειακών καταναλώσεων από Η/Υ

Όροφος	Ισχύς Η/Υ (kW)	Ώρες λειτουργίας ανά ημέρα	Μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις (KWh/ μήνα)	Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις (KWh/ έτος)
Ισόγειο	12.78	8	2044.8	24537.6
1^{ος}	15.48	8	2476.8	29721.6
2^{ος}	14.94	8	2390.4	28684.8
3^{ος}	0.18	8	28.8	345.6
4^{ος}	0.18	8	28.8	345.6
Σύνολο				**83635 kWh/έτος 4.6 kWh/m^2**

Πίνακας 3.8: Εκτίμηση ενεργειακών καταναλώσεων από εκτυπωτές

Όροφος	Ισχύς Εκτυπωτών (kW)	Ώρες λειτουργίας ανά ημέρα	Μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις (KWh/ μήνα)	Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις (KWh/ έτος)
Ισόγειο	0.15	2	6	72
1^{ος}	0.33	2	13.2	158.4
2^{ος}	0.57	2	22.8	273.6
3^{ος}	0.015	2	0.6	7.2
4^{ος}	0.015	2	0.6	7.2
Σύνολο				**518.4 kWh/έτος 0.02 kWh/m^2**

3.4.3 Κατανάλωση ενέργειας από θέρμανση και ψύξη

Λόγω ενιαίου τιμολογίου ενέργειας για ολόκληρη την Πολυτεχνειούπολη, πραγματοποιείται εκτίμηση των ενεργειακών καταναλώσεων του κτηρίου για το σύστημα θέρμανσης και ψύξης, από δεδομένα μοντελοποίησης του κτηρίου λαμβάνοντας υπόψη τον συντελεστή απόδοσης συστήματος θέρμανσης n=0.9 καθώς και τον συντελεστή απόδοσης COP=2.2 για το σύστημα ψύξης, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.9.

Πίνακας 3.9: Εκτίμηση ενεργειακών καταναλώσεων από το σύστημα θέρμανσης- ψύξης

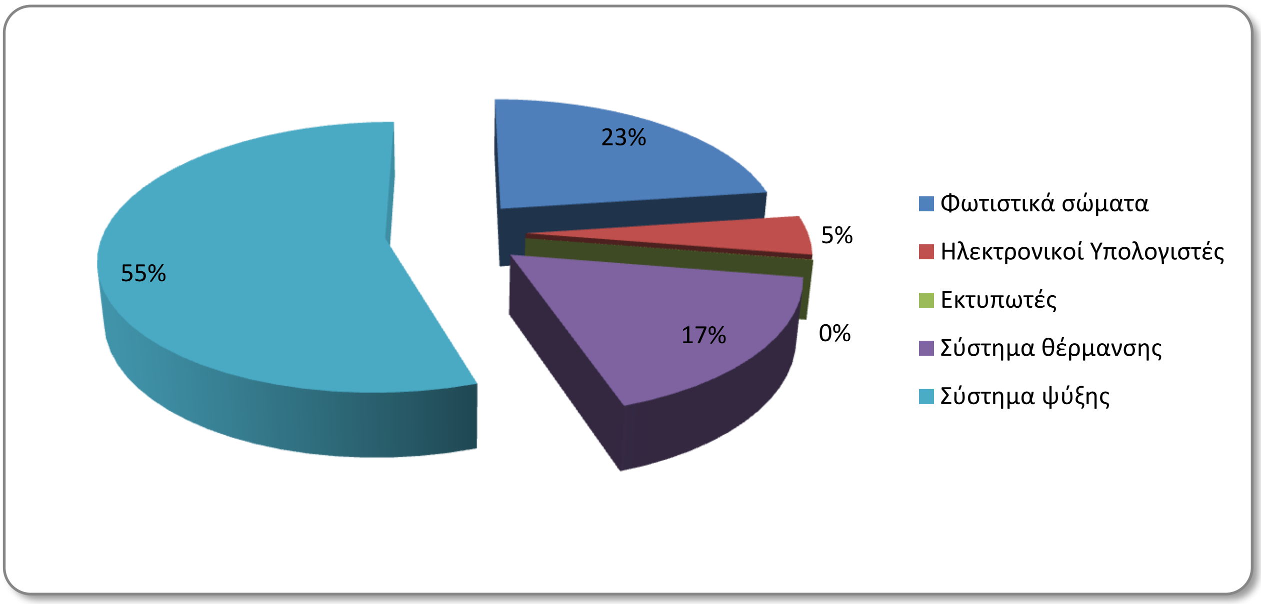
Χρήση Κτηρίου	Ετήσια φορτία ενέργειας ανά επιφάνεια (KWh/ m^2)	Ετήσιες καταναλώσεις (KWh/ m^2)
Σύστημα Θέρμανσης	18.66	17
Σύστημα Ψύξης	118.33	54
Σύνολο	**137**	**71**

3.4.4 Συνολικές καταναλώσεις κτηρίου

Στον Πίνακα 3.10 και στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζεται το ενεργειακό προφίλ του Κτηρίου Επιστημών. Όπως είναι αναμενόμενο η μεγαλύτερη ενεργειακή ανάγκη του κτηρίου σε συντριπτική πλειοψηφία είναι αυτή της ψύξης (55%), έπειτα ακολουθεί η ανάγκη για φωτισμό (κατά 23%), η ανάγκη θέρμανσης (17%) και τέλος οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και άλλες συσκευές.

Πίνακας 3.10: Συνολικές ενεργειακές καταναλώσεις του Κτηρίου Επιστημών

Χρήση Κτηρίου	Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις (KWh/ m^2)
Φωτιστικά σώματα	22.4
Ηλεκτρονικοί Υπολογιστές	4.6
Εκτυπωτές	0.02
Σύστημα θέρμανσης	17
Σύστημα ψύξης	54
Σύνολο	**98**



Σχήμα 3.1: Κατανομή συνολικών καταναλώσεων Κτηρίου Επιστημών

3.5 Χωρισμός του κτηρίου σε θερμικές ζώνες

Στην παρούσα εργασία ο διαχωρισμός του κτηρίου σε θερμικές ζώνες καθορίστηκε σύμφωνα με κανόνες και κριτήρια που υπάρχουν για την διαδικασία αυτή στην Τεχνική Οδηγία του Τ.Ε.Ε. Κ.Εν.Α.Κ.

Ως θερμική ζώνη ορίζεται ένας χώρος με παρόμοια χρήση, ίδιο προφίλ λειτουργίας και ή και κοινά ηλεκτρομηχανολογικά συστήματα (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010).

Προτροπή δίνεται κατά την διαδικασία διαχωρισμού κτηρίου σε θερμικές ζώνες, ο αριθμός των ξεχωριστών ζωνών να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος, λόγω οικονομίας δεδομένων εισόδου και υπολογιστικού χρόνου. Επιπλέον ένας γενικός κανόνας που πρέπει να ακολουθείται είναι, τμήματα του κτηρίου με όγκο μικρότερο από 10% του συνολικού όγκου του κτηρίου να μην εξετάζονται ως αυτόνομες θερμικές ζώνες αλλά να είναι ενταγμένα σε άλλες θερμικές ζώνες ακόμη και αν οι συνθήκες λειτουργίας τους δικαιολογούν την θεώρησή τους ως ανεξάρτητες ζώνες (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010).

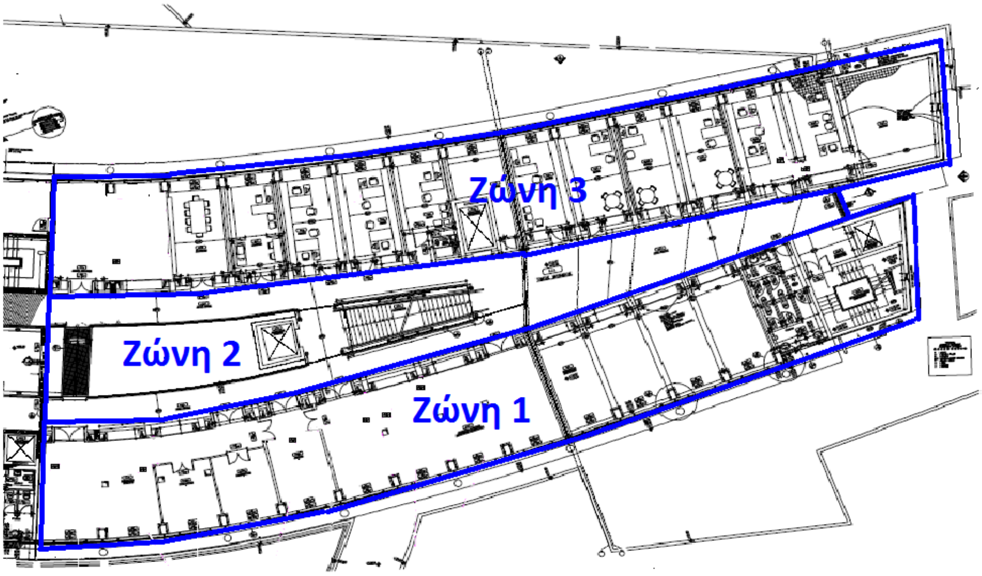
Επιπροσθέτως, υπάρχουν κάποια επιπλέον κριτήρια σύμφωνα με τα οποία, κάποιο υπό μελέτη τμήμα, καλό είναι να ληφθεί ως ξεχωριστή θερμική ζώνη σε ένα κτήριο. Συγκεκριμένα, ξεχωριστή θερμική ζώνη πρέπει να ληφθεί:

- Όταν η θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία σε σχέση με άλλα τμήματα του κτηρίου από 4°C τόσο κατά την θερινή όσο και κατά την χειμερινή περίοδο.

- Όταν υπάρχουν χώροι με διαφορετική χρήση, λόγω του ότι όταν η χρήση στα διάφορα τμήματα αλλάζει, τότε αλλάζουν και οι εσωτερικές συνθήκες σχεδιασμού, όπως θερμοκρασία, σχετική υγρασία και νωπός αέρας.
- Όταν υπάρχουν διαφορετικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης εφόσον έτσι προκύπτουν διαφορετικές εσωτερικές συνθήκες.
- Όταν υπάρχουν τμήματα που παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές απωλειών ή κερδών ενέργειας (π.χ. ηλιακών, θερμικών) σε σχέση με το υπόλοιπο κτήριο.
- Όταν υπάρχουν χώροι στους οποίους το σύστημα μηχανικού αερισμού (παροχής νωπού αέρα ή κλιματισμού) καλύπτει λιγότερο από 80% της επιφάνειας του χώρου (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010).

Λόγω του ότι το κτήριο είναι πολύ μεγάλων διαστάσεων γεγονός που προκαλεί δυσκολίες σε μία αντιπροσωπευτική προσομοίωση καθώς και λόγω του ότι οι δύο πτέρυγες είναι σχεδόν πανομοιότυπες, στα πλαίσια της παρούσας εργασίας προσομοιώθηκε η Β' πτέρυγα (Ανατολική) του υπό μελέτη κτηρίου.

Σύμφωνα με τα δεδομένα αυτά, κρίθηκε σκόπιμο ο κάθε όροφος του κτηρίου να διαχωρισθεί σε έξι θερμικές ζώνες, με αποτέλεσμα όλο το κτήριο να διαχωρισθεί συνολικά σε εικοσιτρείς (23) αυτόνομες θερμικές ζώνες. Σύμφωνα με τα παραπάνω κριτήρια, η κάτοψη της επιφάνειας του κάθε ορόφου χωρίζεται κυρίως λόγω διαφορετικού προφίλ χρήσης και ηλιακών κερδών, σε τρεις θερμικές ζώνες (Εικόνα 3.3). Πιο συγκεκριμένα, η μία θερμική ζώνη αποτελείται από τους γραφειακούς χώρους που βρίσκονται στον Βόρειο προσανατολισμό του κτηρίου, εν συνεχεία η άλλη θερμική ζώνη αποτελείται από τον χώρο κίνησης και τέλος υπάρχει άλλη μία θερμική ζώνη η οποία συνίσταται από τους γραφειακούς χώρους που βρίσκονται στο Νότιο προσανατολισμό.



Εικόνα 3.3: Διαχωρισμός κάτοψης ορόφου σε θερμικές ζώνες

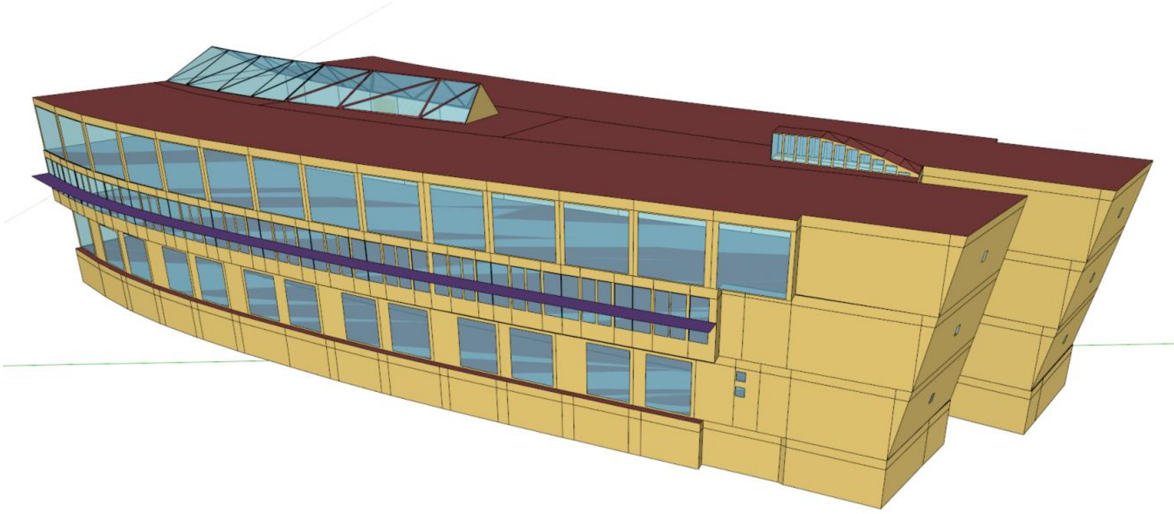
Παράλληλα, καθ' ύψος του κάθε ορόφου λόγω του ότι η ενδιάμεση τοιχοποιία δαπέδου διαθέτει κενό στρώμα αέρα πάχους 50cm, κρίνεται σκόπιμο το τμήμα αυτό της τοιχοποιίας να διαχωρισθεί σαν μία αυτόνομη θερμική ζώνη, ούτως ώστε να ικανοποιούνται αντιπροσωπευτικές συνθήκες μεταφοράς θερμότητας κατά την προσομοίωση του κτηρίου από το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε. Συνεπώς, επάνω από την κάθε ζώνη, υπάρχει άλλη μία η οποία προσομοιώνει το στρώμα αέρα. Δηλαδή υπάρχουν τρεις ζώνες αέρα σε κάθε όροφο, συνεπώς συνολικά ο κάθε όροφος χωρίζεται σε έξι επιμέρους θερμικές ζώνες.

3.6 Θερμική προσομοίωση του κτηρίου μέσω Google SketchUp

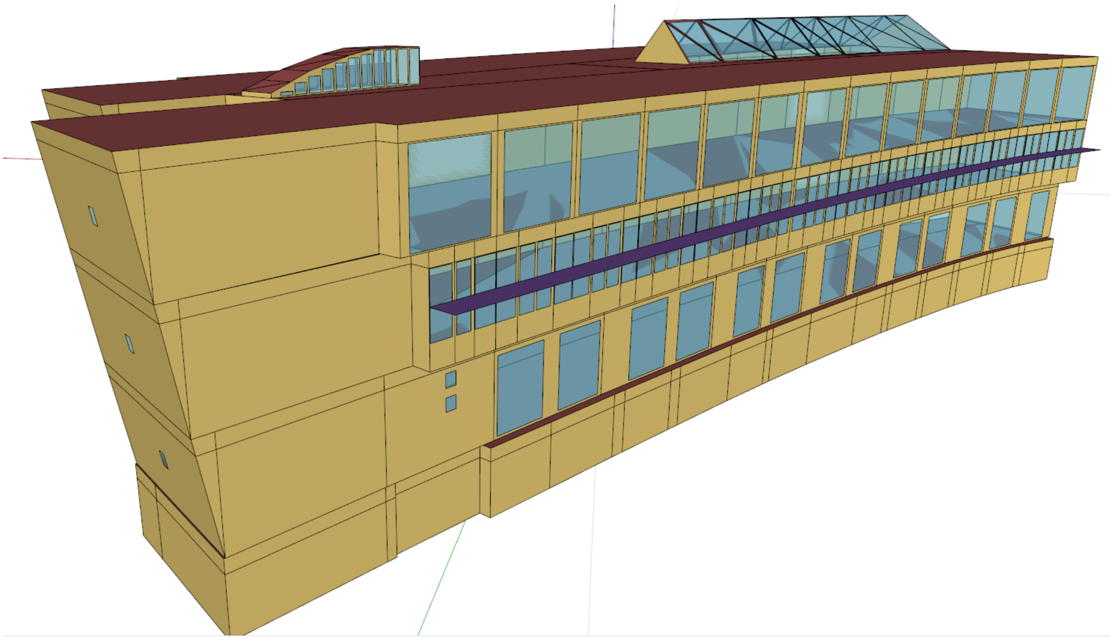
Η προσομοίωση της γεωμετρίας του κτηρίου πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος Google SketchUp Version 7.1.6087. Πρόκειται για ένα ευρέως διαδεδομένο πρόγραμμα με δυνατότητα κατασκευής κάθε είδους τρισδιάστατου σχεδίου. Το σχεδιαστικό αυτό πρόγραμμα είναι φιλικό προς το χρήστη, διαθέτει εύχρηστα εργαλεία σχεδίασης με αποτέλεσμα την σχετικά εύκολη σχεδίαση και οπτικοποίηση της αρχιτεκτονικής του μοντέλου με τρισδιάστατες δυνατότητες. Το Google SketchUp δεν είναι τίποτα παραπάνω από μία επιπρόσθετη λειτουργία (plug-in) του προγράμματος Open Studio.

Για επέκταση της λειτουργικότητας του προγράμματος Google SketchUp, διατίθενται κάποιες εφαρμογές συμβατές με άλλα λογισμικά προσομοίωσης όπως είναι το TRNSYS ή το Energy Plus.

Με χρήση της επέκτασης του προγράμματος Google SketchUp στο Energy Plus, πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση της Β' πτέρυγας του Κτηρίου Επιστημών του Πολυτεχνείου Κρήτης. Έτσι, σε τρισδιάστατη απεικόνιση δημιουργήθηκαν μία προς μία οι 23 θερμικές ζώνες του κτηρίου όπως παρουσιάζεται στις Εικόνες 3.4 και 3.5. Για το κάθε στοιχείο της ζώνης δηλώθηκε τόσο ο τύπος του (τοίχος, ταβάνι, δάπεδο, οροφή, πόρτα, παράθυρο) όσο και η κατασκευή του (εξωτερική, ενδιάμεση τοιχοποιία, δάπεδο επί φυσικού εδάφους, οροφή). Επιπλέον, μέσω του Google SketchUp είναι δυνατή η εισαγωγή συστημάτων σκίασης που διαθέτει το κτήριο τόσο στη νότια όσο και στη βόρεια ζώνη.



Εικόνα 3.4: Τρισδιάστατη απεικόνιση της Β' Πτέρυγας του Κτηρίου Επιστημών (Νότια όψη)



Εικόνα 3.5: Τρισδιάστατη απεικόνιση της Β' Πτέρυγας του Κτηρίου Επιστημών (Βόρεια όψη)

Κεφάλαιο 4 : Προσομοίωση κτηρίου

4.1 Εισαγωγή

Η συμπεριφορά ενός κτηρίου επηρεάζεται από ένα συνδυασμό παραγόντων. Συγκεκριμένα, το κτηριακό κέλυφος από το οποίο αποτελείται, τα συστήματα θέρμανσης - ψύξης που διαθέτει, η κλιματική ζώνη στην οποία εντάσσεται, ο προσανατολισμός του κτηρίου, η σκίαση του από τα γύρω εμπόδια καθώς και η λειτουργία του από τους χρήστες είναι οι πιο καθοριστικοί παράγοντες στην συμπεριφορά ενός κτηρίου. Για να είναι δυνατή τόσο η ανάλυση όλων αυτών των παραμέτρων όσο και η επίδραση που έχουν στο κτήριο, απαιτείται η προσομοίωση του κτηρίου (Kreider et al., 2002).

Οι ενεργειακές προσομοιώσεις κτηρίων ξεκίνησαν από την δεκαετία του 1960, όταν το πρώτο απλό μοντέλο κατασκευάστηκε το 1977 με σκοπό την εύρεση συνθηκών για την οικονομική βιωσιμότητα των ηλιοθερμικών συστημάτων. Από τότε και έπειτα το ερευνητικό ενδιαφέρον επικεντρώθηκε στην εύρεση θεωρίας και αλγορίθμων που συσχετίζονται με την εκτίμηση ενεργειακών φορτίων, με αποτέλεσμα την δημιουργία νέων μοντέλων (Jebaraj, Iniyan, 2006).

Έτσι, ανάλογα με την πολυπλοκότητα της εκάστοτε περίπτωσης και την επιδιωκόμενη ακρίβεια, αναπτύχθηκαν διάφορες μέθοδοι υπολογισμού, οι οποίες διαχωρίζονται σε μεθόδους με δυναμικούς και στατικούς υπολογισμούς (ASHRAE, Handbook - Fundamentals, 2005, Chapter 32). Σύμφωνα με τις παραπάνω μεθόδους προέκυψαν πάμπολλοι τύποι ενεργειακών μοντέλων υλοποιώντας κάθε είδους σκοπό. Ενδεικτικά, κάποια από αυτά είναι μοντέλα βασισμένα σε νευρωνικά δίκτυα, μοντέλα με σκοπό την πρόγνωση, την μείωση αέριων εκπομπών, την βελτιστοποίηση παραμέτρων, την διεξοδική ανάλυση παραμέτρων όπως φωτισμό, συστήματα θέρμανσης - ψύξης όπως και μοντέλα ανάλυσης κύκλου ζωής (Jebaraj, Iniyan, 2006, Jacobs, Henderson, 2002).

Λόγω της ραγδαίας εξέλιξης των δυνατοτήτων των ηλεκτρονικών υπολογιστών με το πέρας των χρόνων, κατέστη δυνατό τα μοντέλα που είχαν αναπτυχθεί να μπορούν πλέον να εφαρμοστούν σε λογισμικά ενεργειακής προσομοίωσης κτηρίων. Με την μέθοδο BESTEST είναι εφικτός ο έλεγχος της ακρίβειας και της μεθοδολογίας που ακολουθείται από το κάθε λογισμικό. Η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε από την ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), υπακούοντας στις διαδικασίες του ANSI (American National Standards Institute), διαμορφώνοντας το πρότυπο ANSI/ASHRAE Standard 140 (Neymark, Judkoff, 2008).

4.2 Περιγραφή προγραμμάτων προσομοίωσης

Με την μέθοδο BESTEST αξιολογήθηκαν αρκετά προγραμματιστικά πακέτα που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως, κάποια από τα οποία παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Το TRNSYS είναι ένα πλήρες υπολογιστικό περιβάλλον που χρησιμοποιείται ευρέως για την προσομοίωση κτηρίων, τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) καθώς και συστημάτων θέρμανσης - ψύξης. Αποτελεί ένα σύστημα προσομοίωσης με διάταξη τμημάτων κώδικα η οποία υλοποιεί μία προσέγγιση βασισμένη σε στοιχεία με σκοπό την προσομοίωση θερμικών συστημάτων ενέργειας. Τα στοιχεία αυτά του συστήματος είναι υπορουτίνες σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN. Το TRNSYS είναι ένα τρισδιάστατο μοντέλο που επιλύει αριθμητικές πεπερασμένες διαφορές, οι οποίες αποτελούν μέρος της βιβλιοθήκης η οποία είναι συζευγμένη με αυτό (Klein et al., 2007).

Το DIT 3-D Model κατασκευάστηκε από το Ινστιτούτο του Δουβλίνου (Dublin Institute of Technology, DIT). Πρόκειται για ένα αριθμητικό τρισδιάστατο μοντέλο μεταφοράς θερμότητας βασισμένο στην επίλυση γραμμικών και συνήθων διαφορικών εξισώσεων από την MATLAB (The MathWorks, Inc., 2007).

Το μοντέλο BASESIMP είναι ένας αλγόριθμος ο οποίος βασίζεται σε προσομοιώσεις που υλοποιούνται από ένα άλλο πρόγραμμα με το οποίο είναι συζευγμένο, το BASECALC (Beausoleil, Mitalas, 1997). Το BASECALC είναι ένα υπολογιστικό πρόγραμμα το οποίο εκτελεί μια σειρά από δυσδιάστατα πεπερασμένα στοιχεία ανάλυσης, χρησιμοποιώντας συντελεστές διόρθωσης ώστε να προκύψουν τρισδιάστατες λύσεις (Beausoleil- Morrison, 1996).

4.3 Περιγραφή του λογισμικού EnergyPlus

Πέραν των προαναφερθέντων προγραμμάτων, υπάρχει ένα ακόμα ευρέως διαδεδομένο προγραμματιστικό πακέτο, το EnergyPlus. Το EnergyPlus είναι ένα πλήρες, επεκτάσιμο και εξαιρετικά ευέλικτο λογισμικό ανοιχτού κώδικα που παρέχεται χωρίς χρέωση. Το εργαλείο αυτό δίνει την δυνατότητα σε μηχανικούς να προσομοιώσουν σύστημα θέρμανσης - ψύξης, τον αερισμό, τον φωτισμό καθώς και κάθε άλλο είδος ροής ενέργειας σε κτήρια (EnergyPlus, 2010).

Το EnergyPlus βασίζεται στις λειτουργίες και τα χαρακτηριστικά των προγραμμάτων BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) και DOE-2, τα οποία αναπτύχθηκαν και κυκλοφόρησαν σαν βασικά εργαλεία προσομοίωσης ενέργειας και ψυκτικών - θερμικών φορτίων, στα τέλη του 1970 και στις αρχές του 1980 από το Υπουργείο Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. Ο συνδυασμός των προγραμμάτων αυτών προέκυψε με αφορμή την ενεργειακή κρίση της δεκαετίας του

1970 και της μεγάλης ενεργειακής κατανάλωσης που παρουσίαζαν τα κτήρια της Αμερικής (EnergyPlus, 2010).

4.3.1 Δυνατότητες του Energy Plus

Το εργαλείο αυτό προορίζεται για κάθε ειδικότητας μηχανικό που επιθυμεί να διαστασιολογήσει το κατάλληλο σύστημα θέρμανσης - ψύξης, να εκπονήσει μελέτη ανάλυση κύκλου ζωής του συστήματος ή ακόμα και να βελτιστοποιήσει την ενεργειακή του απόδοση. Το Energy Plus παρέχει την δυνατότητα υπολογισμού θερμικών - ψυκτικών φορτίων ώστε να καλύπτονται οι θερμικές - ψυκτικές απαιτήσεις του κτηρίου. Επίσης είναι εφικτό να υπολογίζονται οι ενεργειακές καταναλώσεις του πρωτογενούς εξοπλισμού, οι θερμοκρασίες των θερμικών ζωνών και γενικότερα όλων των σχετικών λεπτομερειών με σκοπό να προκύπτει πάντα σωστή και αντιπροσωπευτική προσομοίωση του εκάστοτε κτηρίου (EnergyPlus, Getting Started with EnergyPlus, 2010).

Το πρόγραμμα ενεργειακής ανάλυσης EnergyPlus διαθέτει αρκετά καινοτόμες λειτουργίες και χαρακτηριστικά όπως η δυνατότητα υπολογισμού φορτίων σε χρονικά βήματα που ορίζονται από τον χρήστη (υπάρχει η δυνατότητα ορισμού και υποωριαίων βημάτων), ο υπολογισμός των θερμικών φορτίων από ακτινοβολία και μεταφορά θερμότητας χρησιμοποιώντας μια τεχνική επίλυσης βασισμένη στην θερμική ισορροπία. Επιπλέον, είναι δυνατός ο υπολογισμός θερμικής αγωγιμότητας στα διάφορα δομικά στοιχεία, σύνθετοι υπολογισμοί ανοιγμάτων, ανάλογα με την περίπτωση με χρήση κάθε είδους τεχνητών ή φυσικών συστημάτων σκίασης που διατίθενται σε αντίστοιχη βιβλιοθήκη καθώς και η εκτίμηση ατμοσφαιρικής ρύπανσης μέσω υπολογισμού αέριων εκπομπών. (EnergyPlus, Getting Started with EnergyPlus, 2010).

Η προσομοίωση της κάθε κατάστασης πραγματοποιείται με κάποια εξειδικευμένα μοντέλα, όπως το μοντέλο θερμικής άνεσης βασισμένο στη θερμοκρασία ξηρού βολβού και την ανθρώπινη δραστηριότητα μέσα στο κτήριο, ένα συνδυασμένο μοντέλο διάδοσης θερμότητας και μάζας για τον υπολογισμό απορρόφησης - αποβολής υγρασίας από κάθε στρώμα επιφάνειας του κτηρίου όπως είναι τα έπιπλα και οι τοιχοποιίες, ένα μοντέλο διάδοσης θερμότητας μέσω εδάφους βασισμένο σε απλές αναλυτικές τεχνικές και τρισδιάστατα μοντέλα εδάφους καθώς επίσης και ένα μοντέλο ανισοτροπικής εκπομπής για τον υπολογισμό της προσπίπτουσας στις επιφάνειες του κτηρίου ηλιακής ακτινοβολίας λόγω διάχυσης (EnergyPlus, Getting Started with EnergyPlus, 2010).

4.3.2 Δομή του Energy Plus

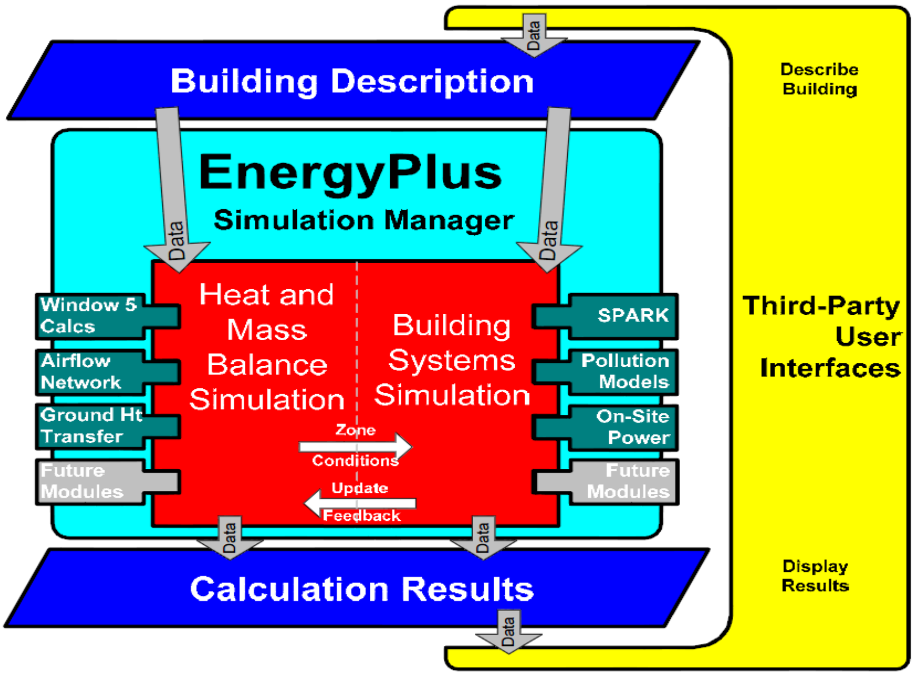
Τα προγράμματα BLAST και DOE-2, στα οποία οφείλεται η ύπαρξη του Energy Plus είναι γραμμένα σε παλαιότερη έκδοση της γλώσσας προγραμματισμού FORTRAN, γι' αυτό και κάποια χαρακτηριστικά τους θεωρούνται πλέον παρωχημένα. Ένα από αυτά τα χαρακτηριστικά είναι ο λεγόμενος κώδικας «σπαγγέτι» από τον οποίο συνίστανται οι BLAST και DOE-2. Δημιουργήθηκε λόγω αυτού, η ανάγκη να εξαλειφθούν οι αλληλοσυνδέσεις μεταξύ τμημάτων του προγράμματος καθώς και η ανάγκη κατανόησης ολόκληρου του κώδικα με στόχο την προσθήκη απλά κάποιου επιπλέον στοιχείου, σ' ένα μέρος του προγράμματος. Ο στόχος επιτεύχθηκε μέσω της δομής του EnergyPlus ως «διαχειριστής», αποτελούμενη από πολλά τμήματα κώδικα (modules). Αντί λοιπόν, το κάθε τμήμα κώδικα χαμηλού επιπέδου προσομοίωσης να διεισδύει στο υψηλότερο επίπεδο της προσομοίωσης, το κάθε τμήμα ασκεί έλεγχο στο ίδιο όταν καλούνται υποκατηγορίες από αυτό. Αυτή η δομή μοιάζει με οργανόγραμμα όπου η διαχείριση των στελεχών γίνεται ιεραρχικά ξεκινώντας από ένα «γενικό εκτελεστικό διευθυντή» που βρίσκεται στην κορυφή του οργανογράμματος.

Η υπορουτίνα ManageSimulation αναλαμβάνει τον ρόλο του «γενικού εκτελεστικού διευθυντή» καθώς ελέγχει τέσσερις από τους πέντε βρόχους της προσομοίωσης οι οποίοι είναι, το περιβάλλον, η ημέρα, η ώρα, τα χρονικά υποωριαία βήματα που θέτει ο χρήστης καθώς και τα χρονικά υποωριαία βήματα του συστήματος θέρμανσης - ψύξης που θέτει ο HVAC διαχειριστής. Έτσι το κάθε επιμέρους τμήμα κώδικα καλείται μέσω της υπορουτίνας του διαχειριστή συνεπώς δεν δυσχεραίνει η έκβαση του προγράμματος εξαιτίας των αλληλοσυνδέσεων που υπάρχουν μεταξύ των υπορουτίνων.

Τα χαρακτηριστικό που διαθέτει το EnergyPlus να χωρίζεται σε τμήματα κώδικα αποτελεί βασικό προτέρημα καθώς παρέχει την δυνατότητα προσθήκης στοιχείων αλλά και συνδέσμων (links) στα διάφορα τμήματα του προγράμματος.

Λόγω του τμηματικού προγραμματισμού, κάθε προγραμματιστής μπορεί να κατασκευάσει το δικό του τμήμα - κώδικα παράλληλα με κάποιο άλλο χωρίς να παρεμβαίνει το ένα στο τμήμα - κώδικα του άλλου χωρίς να απαιτείται ιδιαίτερη γνώση της δομής του προγράμματος. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι κρίσιμο για την ευρεία χρήση και ανάπτυξη των μοντέλων των προγραμμάτων γενικά, συνεπώς και του EnergyPlus. Επομένως η τμηματικότητα και η βελτιωμένη του δομή, απλοποιεί κατά πολύ και επιλύει τα προβλήματα που υπήρχαν, περιορίζοντας τόσο την απαίτηση ειδικών για την επεξεργασία του κώδικα, όσο και την μεγάλη απαίτηση σε χρόνο και δαπάνη για εκμάθηση ολόκληρου του κώδικα ώστε να είναι εφικτό να πραγματοποιηθούν προσθήκες σε αυτόν, όταν κρίνεται σκόπιμο.

Ο τμηματικός προγραμματισμός ευνοεί επίσης την εγκατάσταση συνδέσμων (links) οι οποίοι επιτρέπουν την αλληλεπίδραση μεταξύ διαφορετικών τμημάτων του κώδικα, όπως για παράδειγμα τμήμα κώδικα ισοζυγίου θερμότητας και μάζας που αλληλεπιδρά με τμήμα προσομοίωσης κτηρίου (Εικόνα 4.1).



Εικόνα 4.1:Γενική δομή του Energy Plus (EnergyPlus, Getting Started with EnergyPlus, 2010)

Το EnergyPlus επιτυγχάνει ολοκληρωμένη προσομοίωση βασισμένη στο πρόγραμμα IBLAST (Integrated Building Loads Analysis and System Thermodynamics), εφόσον έτσι μπορούν τα κύρια μέρη της προσομοίωσης, κτήριο, σύστημα, και μηχανολογική εγκατάσταση, να αλληλεπιδράσουν ταυτόχρονα μεταξύ τους σε κάθε υποωριαίο χρονικό βήμα που θέτει ο χρήστης, σε συνδυασμό με κάθε βήμα που θέτει ο HVAC διαχειριστής.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι ο κώδικας προγραμματισμού του EnergyPlus είναι πηγαίος για λόγους χρησιμότητας και μεγάλης ακρίβειας, στον οποίο δίνεται πρόσβαση τόσο στο χρήστη όσο και στον προγραμματιστή.

4.4 Προσομοίωση του κτηρίου μέσω του λογισμικού EnergyPlus

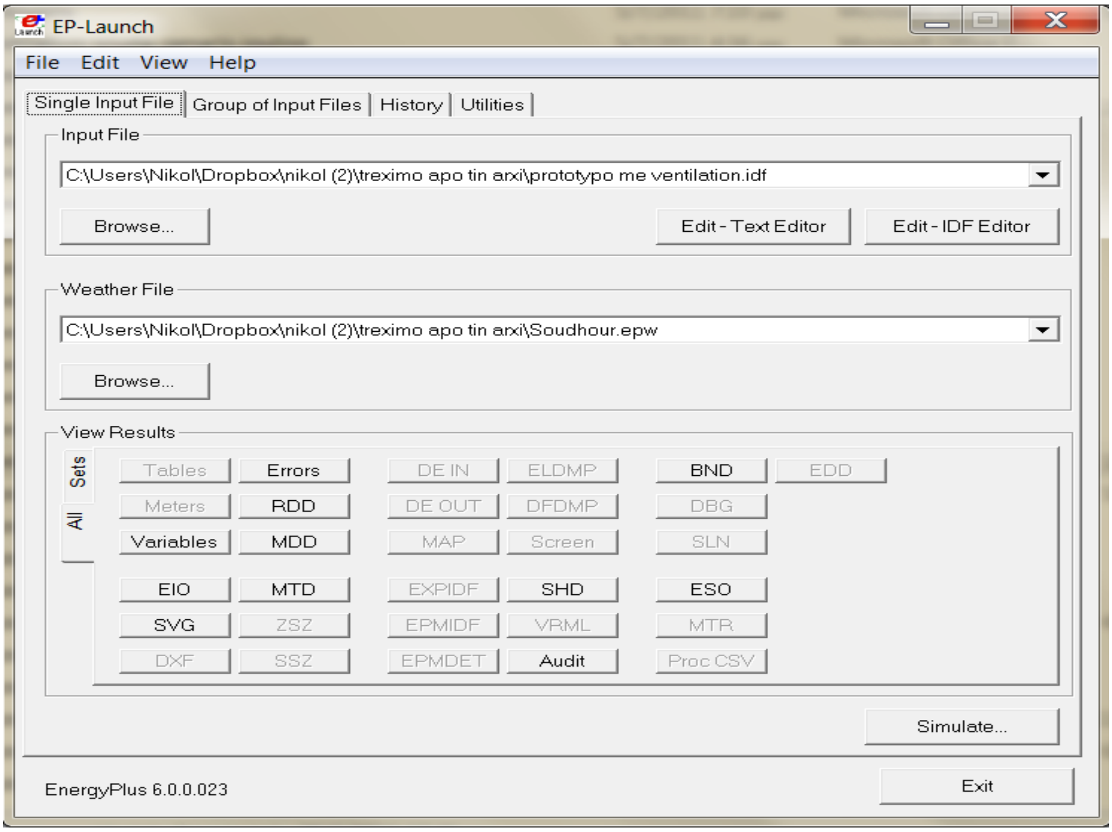
Η γεωμετρία του κτηρίου που μελετάται έχει εισαχθεί, όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3, μέσω της επιπρόσθετης λειτουργίας (plug-in) του προγράμματος Open Studio, του Google SketchUp. Το αρχείο του Google SketchUp περιέχει κάποιες γενικές πληροφορίες για το κτήριο που προσομοιώθηκε, όπως όγκος, επιφάνεια, προσανατολισμός καθώς και υλικά τοιχοποιίας του κτηρίου. Τα δεδομένα αυτά εισάγονται στο Energy Plus Version 6.0.0.023 με βάση το οποίο γίνεται η κτηριακή προσομοίωση.

Κατά την κτηριακή προσομοίωση μέσω του EnergyPlus χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικά υποπρογράμματα που εξυπηρετούν διαφορετικούς σκοπούς, το EP-Launch και το IDF Editor.

4.4.1 Υποπρόγραμμα EP-Launch

Στην καρτέλα Single Input File του αρχείο EP-Launch παρέχεται η δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει τα αρχεία που είναι επιθυμητό να εκτελεστούν από το λογισμικό του EnergyPlus. Όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.2, αρχικά μπορεί να επιλεχθεί το αρχείο εισαγωγής (Input File) που θα εκτελεστεί, το αρχείο καιρού (Weather File) με βάση το οποίο θα πραγματοποιηθούν οι απαραίτητοι υπολογισμοί μεταφοράς μάζας και θερμότητας καθώς επίσης τα αρχεία αποτελεσμάτων (View Results) που θα εξαχθούν από την ολοκλήρωση της εκτέλεσης του προγράμματος, τα οποία διαρθώνονται σε δυο επιμέρους καρτέλες (All και Sets).

Τα αρχεία εξόδου περιέχουν πληροφορίες σχετικά με τα δεδομένα που εισήγαγε και επεξεργάστηκε ο χρήστης καθώς και αυτά που προέκυψαν από το λογισμικό EnergyPlus. Τα διάφορα αρχεία εισόδου - εξόδου που προκύπτουν είναι αρχεία κειμένου με διαφορετική κατάληξη, ανάλογα με το περιεχόμενό τους και περιγράφονται συνοπτικά στο Παράρτημα Β.

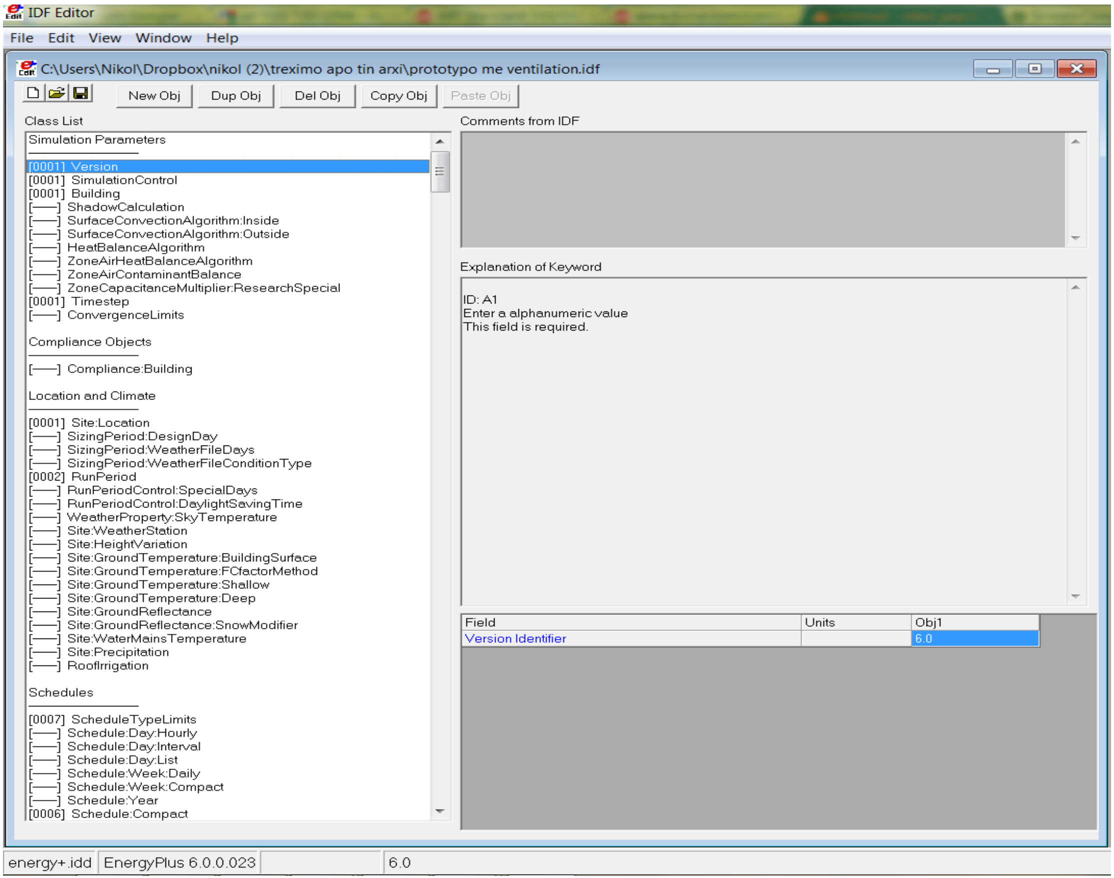


Εικόνα 4.2:Αρχείο EP-Launch του EnergyPlus

Για την εκτέλεση του προγράμματος απαιτείται ένα αρχείο καιρού το οποίο περιέχει μετεωρολογικά δεδομένα (τιμές θερμοκρασίας, υγρασίας, βροχοπτώσεων, ηλιοφάνειας κλπ) για την περιοχή ενδιαφέροντος, ώστε να προσομοιωθούν και οι κλιματολογικές παράμετροι του κτηρίου. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε αρχείο καιρού από μετεωρολογική ιστοσελίδα για την περιοχή της Σούδας (Meteonorm).

4.4.2 Υποπρόγραμμα IDF Editor

Από το υποπρόγραμμα EP-Launch είναι δυνατό είτε η επιλογή Edit-Text Editor είτε η επιλογή Edit IDF. To Editor IDF Editor παρέχει την δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργεί κα να επεξεργάζεται με εύκολο τρόπο εισερχόμενα αρχεία δεδομένων (Input Data Files, IDF). Κάθε δεδομένο που εισάγεται μπορεί να επεξεργαστεί χρησιμοποιώντας ένα υπολογιστικό φύλλο σε μορφή πλέγματος. Για δεδομένα με συγκεκριμένες επιλογές, οι επιλογές αυτές παρέχονται σε λίστα για την εύκολη επιλογή τους από το χρήστη. Όταν το δεδομένο είναι αριθμητικό, εμφανίζεται το εύρος στο οποίο πρέπει να βρίσκεται. Παρέχει επίσης αυτόματα μια λίστα με τα ονόματα των αντικειμένου, όταν ένα αντικείμενο πρέπει να συνδέεται με ένα άλλο (Εικόνα 4.3).



Εικόνα 4.3: Αρχείο IDF Editor του EnergyPlus

4.4.3 Κατηγορίες δεδομένων εισαγωγής

Αποσκοπώντας στην σωστή προσομοίωση του κάθε κτηρίου, είναι απαραίτητο να εισαχθούν δεδομένα που περιγράφουν εξ' ολοκλήρου τόσο το ίδιο το κτήριο, όσο τις ανάγκες και τις ιδιαιτερότητές του. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, τα δεδομένα που πρέπει να εισαχθούν έχουν διαχωριστεί σε επιμέρους κατηγορίες. Σε αυτές, ο χρήστης μπορεί να εισάγει αντικείμενα και να τα περιγράψει με ακρίβεια. Στην διαδικασία αυτή, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ελέγξει τα δεδομένα που εισήγαγε, να τα τροποποιήσει και να τα επεξεργαστεί. Οι βασικότερες κατηγορίες δεδομένων εισαγωγής περιγράφονται στον Πίνακα 4.1 ενώ στον Πίνακα 4.2 παρατίθενται και κάποιες επιπρόσθετες κατηγορίες εισαγωγής δεδομένων.

Πίνακας 4.1: Βασικές κατηγορίες δεδομένων του EnergyPlus

Κατηγορία Δεδομένων	Περιγραφή στοιχείων σχετικά με:
Simulation Parameters	Διαδικασία της προσομοίωσης (περιοχή γύρω από το κτήριο, ηλιακή κατανομή στο κτήριο, έλεγχος προσομοίωσης, χρονικά βήματα εκτέλεσης της προσομοίωσης)
Location and Climate	Κλιματικά δεδομένα της περιοχής μελέτης, χρονική περίοδο της προσομοίωσης
Schedules	Χρονοδιαγράμματα για καθορισμό προγραμματισμού αντικειμένων (π.χ. δραστηριότητα, κίνηση σε χώρο που μελετάται, φωτισμός, εξοπλισμός κτηρίου)
Surface Construction Elements	Φυσικές ιδιότητες δομικών στοιχείων που απαρτίζουν το κτιριακό κέλυφος (εισαγωγή τοιχοποιίας, υαλοστασίων, πορτών που διαθέτει το κτήριο)
Thermal Zones and Surfaces	Θερμικές ζώνες στις οποίες έχει διαχωριστεί το κτήριο
Room Air Models	Εισαγωγή δεδομένων όταν δεν ικανοποιείται η συνθήκη καλά αναμεμειγμένης ζώνης αέρα
Internal Gains	Εσωτερικά θερμικά κέρδη του κτηρίου (π.χ. κέρδη από ανθρώπινη δραστηριότητα, φώτα, ηλεκτρικό εξοπλισμό)
Daylighting	Συσκευές και μέθοδοι ελέγχου των επιπέδων φωτισμού ανάλογα με τα επίπεδα της ηλιακής ακτινοβολίας
Zone Airflow	Ροή αέρα μεταξύ των ζωνών και λόγω φυσικού εξαερισμού (infiltration, ventilation)
Aiflow Network	Μηχανικός και φυσικός μηχανισμός αερισμού του υπό μελέτη χώρου, υπολογίζοντας κέρδη - απώλειες θερμότητας του συστήματος αερισμού
HVAC Templates	Προσδιορισμός θερμοστατών των θερμικών ζωνών και των συστημάτων θέρμανσης - ψύξης HVAC (Heating, Ventilating and Air - Conditioning)
HVAC Design Objects	Σχεδιαστικές παράμετροι του HVAC συστήματος, (π.χ. ροή αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον)
Zone HVAC Controls and Thermostats	Θερμοστατικός ή και υγροστατικός έλεγχο σε θερμική ζώνη
Zone HVAC Forced Air Units	Μονάδες με κίνηση εξαναγκασμένου αέρα, (π.χ. σύστημα με

	ιδανική απόδοση, σύστημα FCU (Fan Coil Unit))
Zone HVAC Radiative/ Convective Units	Υπολογισμός ποσού μεταφερόμενης θερμότητας από συστήματα σε ανθρώπους και επιφάνειες του κτηρίου, για υπολογισμούς ισοζυγίων θερμότητας και πρόβλεψη θερμικής άνεσης σε υπό μελέτη χώρο
Zone HVAC Air Loop Terminal Units	Τερματικές μονάδες που συνδέουν τα συστήματα αέρα με τις θερμικές ζώνες
Zone HVAC Equipment Connections	Εξοπλισμός του HVAC συστήματος που διαθέτει μία ζώνη κατά σειρά λειτουργίας ανάλογα με τις απαιτήσεις του θερμοστάτη
Energy Management System (EMS)	Μέθοδος ελέγχου παραμέτρων, λειτουργώντας ως αισθητήρας (π.χ. ενεργοποίηση / απενεργοποίηση σε φώτα, αντλίες, ανεμιστήρες, ηλεκτρικό εξοπλισμό, τμήματα του HVAC συστήματος, τροποποίηση σημείου αναφοράς σε εναλλάκτη)
Economics	Μοντελοποίηση κόστους κατασκευής, λογαριασμών που προκύπτουν από την ενεργειακή κατανάλωση ενός κτηρίου
Output Reporting	Εξαγόμενα αποτελέσματα από το πέρας της μοντελοποίησης

Πίνακας 4.2: Λοιπές κατηγορίες δεδομένων του EnergyPlus

Κατηγορία Δεδομένων	Περιγραφή στοιχείων σχετικά με:
Exterior Equipment	Εξωτερικός εξοπλισμός (φώτα, καύσιμα, νερό)
Fans	Ανεμιστήρες
Coils	Πηνία
Evaporative Coolers	Σύστημα ψύξης
Humidifier	Υγραντήρας
Desiccant Dehumidifier	Αφυγραντήρας
Heat Recovery	Εναλλάκτης θερμότητας
Controllers	Έλεγχος λειτουργίας μηχανολογικών συστημάτων
Air Distribution	Διανομή αέρα σε ζώνη από HVAC σύστημα
Node Branch Management	Κομβικά σημεία που συνθέτουν ένα HVAC σύστημα
Pumps	Αντλίες
Solar Collectors	Ηλιακοί συλλέκτες
Plant Heating and Cooling Equipment	Εξαρτήματα HVAC συστημάτων (λέβητες, αντλία θερμότητας)
Condenser Equipment and Heat Exchangers	Μηχανολογικός εξοπλισμός (πύργοι ψύξης, εναλλάκτες θερμότητας)
Refrigeration	Σύστημα ψύξης
Demand Limiting Controls	Μέθοδος διαχείρισης ελάχιστης ζήτησης
Water Systems	Συστήματα νερού
Performance Curves	Πολυωνυμικές καμπύλες για χαρακτηρισμό των επιδόσεων του μηχανολογικού εξοπλισμού
Performance Tables	Πίνακες δεδομένων για χαρακτηρισμό των επιδόσεων του μηχανολογικού εξοπλισμού
Fluid Properties	Ιδιότητες ρευστών που υπάρχουν σε μηχανολογική εγκατάσταση

4.5 Εισαγωγή δεδομένων στο EnergyPlus

Στη συνέχεια περιγράφονται τα στοιχεία που εισήχθησαν για την μοντελοποίηση του υπό μελέτη κτηρίου.

4.5.1 Παράμετροι προσομοίωσης (Simulation Parameters)

Σε αυτήν την κατηγορία δεδομένων εισάγονται γενικά δεδομένα που αφορούν στον τρόπο με τον οποίο θα πραγματοποιηθεί η προσομοίωση του κτηρίου που μελετάται. Εισάγεται η υποκατηγορία «Version» (δήλωση της έκδοσης του προγράμματος με την οποία θα εκπονηθεί η μελέτη), η υποκατηγορία «Building» (δήλωση της χρήσης σχετικών ή απόλυτων συντεταγμένων για την περιγραφή της τοποθεσίας του κτηρίου, το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής το οποίο επηρεάζει την κίνηση του ανέμου γύρω από το κτήριο στην εξεταζόμενη περίπτωση είναι ανάγλυφο προαστίου των Χανίων) καθώς επίσης και η υποκατηγορία «Timestep» (ορισμός του χρονικού βήματος προσομοίωσης του κτηρίου). Εισάγεται ακόμα το αποδεκτό σφάλμα για την σύγκλιση παραμέτρων καθώς και ο μηχανισμός με τον οποίο η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στις επιφάνειες του κτηρίου και με τον τρόπο αυτό εισέρχεται στο εσωτερικό των θερμικών ζωνών του. Στην εν λόγω περίπτωση λαμβάνεται υπόψη η διάχυτη ακτινοβολία που προσπίπτει σε όλες τις επιφάνειες του κτηρίου, αντανακλάται και διανέμεται ομοιόμορφα στο εσωτερικό των χωρών ενώ στο ισοζύγιο θερμότητας της κάθε επιφάνειας συνυπολογίζεται και η θερμότητα που απορροφάται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της κάθε επιφάνειας.

4.5.2 Τοποθεσία και Κλίμα (Location and Climate)

Στην υποκατηγορία «Site:Location» περιγράφονται οι ακριβείς γεωγραφικές συντεταγμένες του κτηρίου (γεωγραφικό μήκος, πλάτος, ανύψωση) και ώρα ζώνης, στην υποκατηγορία «RunPeriod» το χρονικό διάστημα προσομοίωσης του κτηρίου δίνοντας κάποια επιπρόσθετα στοιχεία για το αν πρέπει να ληφθούν υπόψη Σαββατοκύριακα.

4.5.3 Προγράμματα (Schedules)

Η υποκατηγορία «ScheduleTypeLimits" προσδιορίζει τον τύπο των δεδομένων και όρια των στοιχείων που θα εισαχθούν για την περιγραφή των προγραμμάτων.

Μέσω της υποκατηγορίας «Schedule:Compact» καθορίστηκε χρονοδιάγραμμα για την κίνηση που υπάρχει μέσα στο κτήριο, την χρήση ηλεκτρικού εξοπλισμού και φωτισμού καθ΄ όλη τη διάρκεια του έτους, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.3. Επίσης δηλώθηκαν οι περίοδοι διακοπών κατά τις οποίες το ίδρυμα παραμένει κλειστό. Η περίοδος 18/12 - 7/1 ορίστηκε περίοδος χειμερινών διακοπών, η περίοδος 15/4 - 30/4 περίοδος διακοπών Πάσχα ενώ το διάστημα 15/7 - 15/8 ορίστηκε περίοδος καλοκαιρινών διακοπών.

Πίνακας 4.3: Εβδομαδιαίο πρόγραμμα απασχόλησης κτηρίου

Καθημερινές		Σάββατο	
Ημερήσιο Χρονικό Διάστημα Προγράμματος	Ποσοστό Απασχόλησης κτηρίου (%)	Ημερήσιο Χρονικό Διάστημα Προγράμματος	Ποσοστό Απασχόλησης κτηρίου (%)
6:00-07:00	0	6:00-10:00	0
07:00-09:00	80	10:00-14:00	20
09:00-14:00	100		
14:00-15:00	90		
15:00-16:00	70		
16:00-17:00	50		
17:00-18:00	40		
18:00-21:00	30		
21:00-22:00	0		

4.5.4 Κατασκευή Επιφανειών (Surface Construction Elements)

Στην κατηγορία «Material» εισάγεται το κάθε υλικό που υπάρχει στο κτήριο συνοδευόμενο από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του, όπως έχει περιγραφεί στο Κεφάλαιο 3. Έπειτα στην κατηγορία «Construction» εισάγονται από το εξωτερικό στρώμα προς το εσωτερικό, συντελώντας έτσι την κατασκευή κάθε τμήματος του κτηρίου. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για τα υαλοστάσια, εφόσον τα υλικά οριστούν πρώτα στα «WindowMaterial:Glazing» και «WindowMaterial:Gas.»

4.5.5 Θερμικές Ζώνες και Επιφάνειες (Thermal Zones and Surfaces)

Οι ακριβείς συντεταγμένες των θερμικών ζωνών, των επιφανειών, των υαλοστασίων και των συστημάτων σκίασης εισάγονται αυτόματα από το GoogleSketchUp.

4.5.6 Εσωτερικά κέρδη (Internal Gains)

Στο πεδίο «People» εισάγεται ο αριθμός των ατόμων ανά ζώνη κατόπιν υπολογισμού που πραγματοποιήθηκε κατά την επιθεώρηση του κτηρίου, οι οποίοι βρίσκονται στο χώρο σύμφωνα με το πρόγραμμα που έχει οριστεί, είναι καθιστοί εκτελώντας δραστηριότητα γραφείου και παράγουν ολική θερμότητα 120W ανά άτομο (ASHRAE, Handbook - Fundamentals, 2005, Chapter 8, Chapter30).

Εισάγονται τα επίπεδα φωτισμού ανά ζώνη που υπολογίστηκαν από την επιθεώρηση κτηρίου στην υποκατηγορία «Lights» τα οποία χρησιμοποιούνται με αντίστοιχο πρόγραμμα.

Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται στο πεδίο «ElectricEquipment» όπου ορίζεται τα εσωτερικά κέρδη από τον ηλεκτρικό εξοπλισμό να υπολογίζονται ανά επιφάνεια της ζώνης και συγκεκριμένα παράγονται 6W/m^2 κτηρίου (ASHRAE, Handbook - Fundamentals Handbook, 2005, Chapter 30).

4.5.7 Ροή αέρα σε ζώνη (Zone Airflow)

Η διείσδυση αέρα από εξωτερικές πόρτες, παράθυρα και ρωγμές δηλώνεται στο πεδίο «ZoneInfiltration:DesignFlowRate» με ρυθμό 0.5ach για όλες τις ζώνες όλο το χρονικό διάστημα της μοντελοποίησης (Kreider et al., 2002, ASHRAE, Handbook - Fundamentals, 2005, Chapter 27).

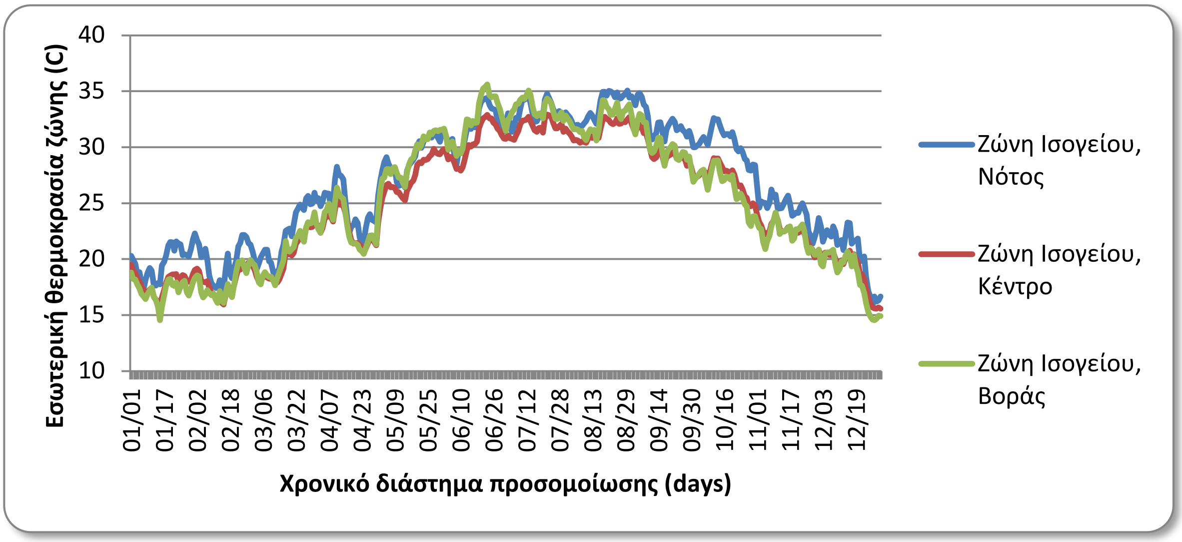
Ο ρυθμός αερισμού, δηλαδή η σκόπιμη παροχή αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον σε κάποια ζώνη ορίζεται στην κατηγορία «ZoneVentilation:DesignFlowRate» και είναι ίση με 0.007m^3/s άτομο σε κάθε ζώνη (ANSI/ASHRAE Standard,2001, Kreider et al., 2002, ASHRAE, Handbook - Fundamentals, 2005, Chapter 27).

4.6 Αποτελέσματα του λογισμικού

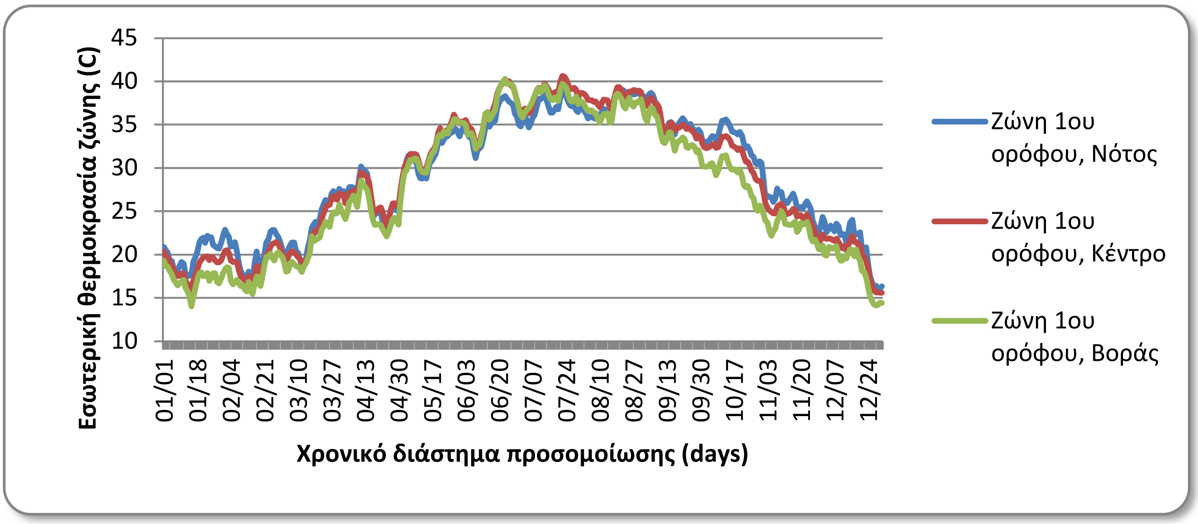
4.6.1 Εσωτερικές θερμοκρασίες του κτηρίου

Κατόπιν της εισόδου όλων των απαιτούμενων στοιχείων του κτηρίου, προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα εσωτερικών θερμοκρασιών από το λογισμικό, υπό συνθήκες φυσικής κατάστασης του κτηρίου, δηλαδή χωρίς την χρήση συστήματος θέρμανσης - ψύξης.

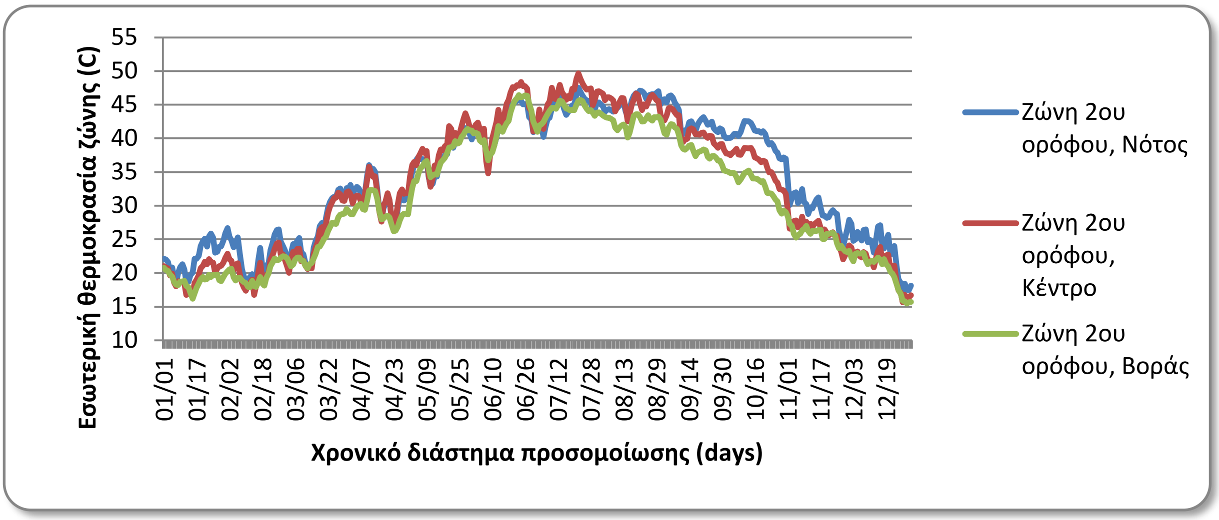
Όπως παρουσιάζεται στα Σχήματα 4.1, 4.2 και 4.3, τους καλοκαιρινούς μήνες χωρίς την χρήση συστήματος θέρμανσης - ψύξης, οι θερμοκρασίες είναι μικρότερες στο ισόγειο, ελαφρώς μεγαλύτερες στον 1^{ο} όροφο και μεγαλύτερες στον 2^{ο} όροφο. Αυτό διότι τα υαλοστάσια καταλαμβάνουν την μικρότερη επιφάνεια στο ισόγειο, μεγαλύτερη στον 1ο όροφο σε σύγκριση με το ισόγειο και τέλος την μεγαλύτερη στον 2ο όροφο. Κατ' επέκταση μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία εισχωρεί στον εσωτερικό χώρο, με μεγαλύτερη επιφάνεια υαλοστασίων γι΄ αυτό και αναπτύσσονται μεγαλύτερες θερμοκρασίες αντίστοιχα.



Σχήμα 4.1: Ετήσιες εσωτερικές θερμοκρασίες στις ζώνες του ισογείου του Κτηρίου Επιστημών



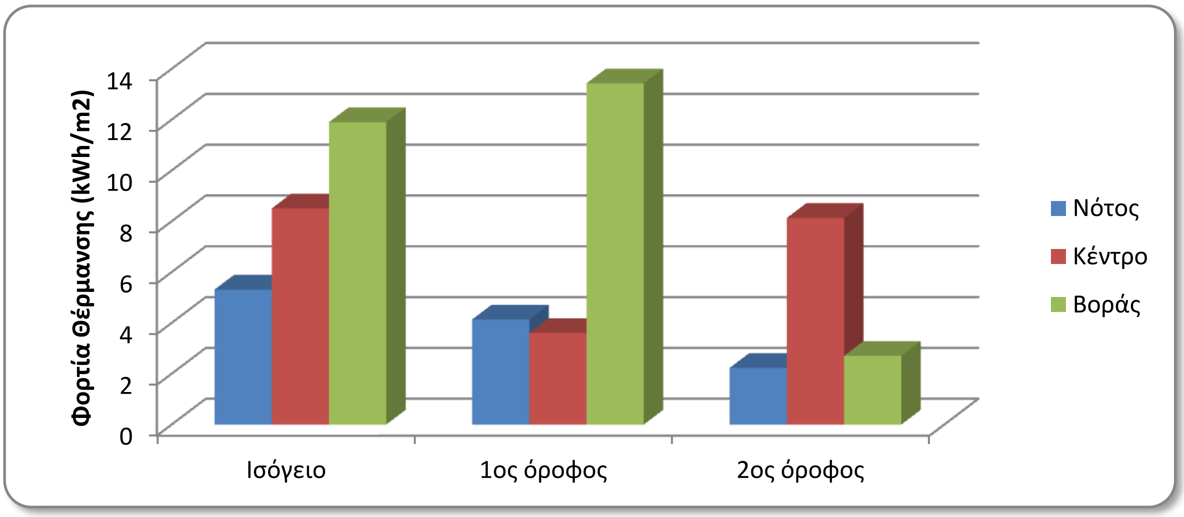
Σχήμα 4.2: Ετήσιες εσωτερικές θερμοκρασίες στις ζώνες του 1ου ορόφου του Κτηρίου Επιστημών



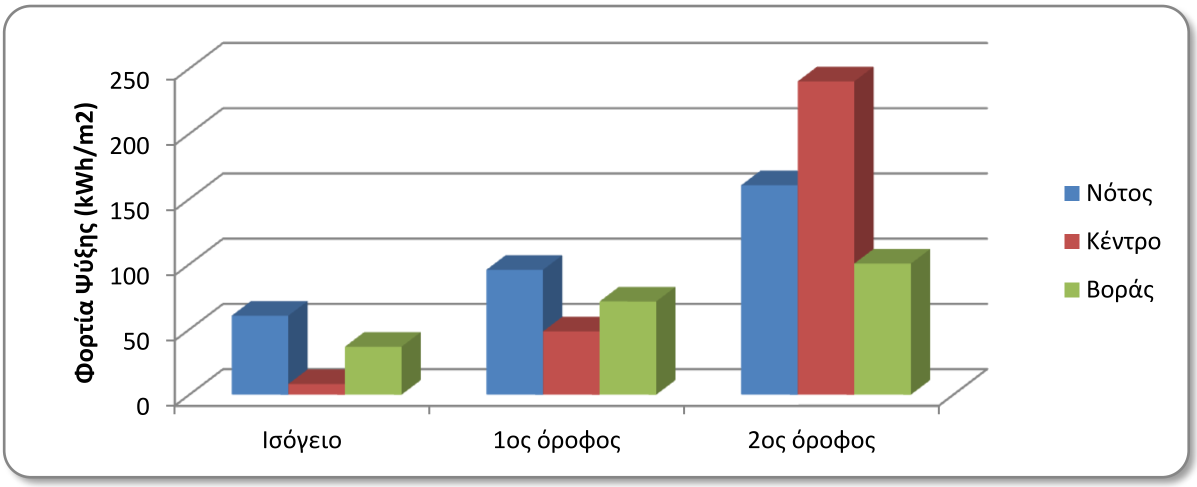
Σχήμα 4.3: Ετήσιες εσωτερικές θερμοκρασίες στις ζώνες του 2ου ορόφου του Κτηρίου Επιστημών

4.6.2 Φορτία - Ενεργειακές καταναλώσεις του κτηρίου

Τα ετήσια φορτία για τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης του κτηρίου που προέκυψαν από το μοντέλο, παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.4 και 4.5 αντίστοιχα.



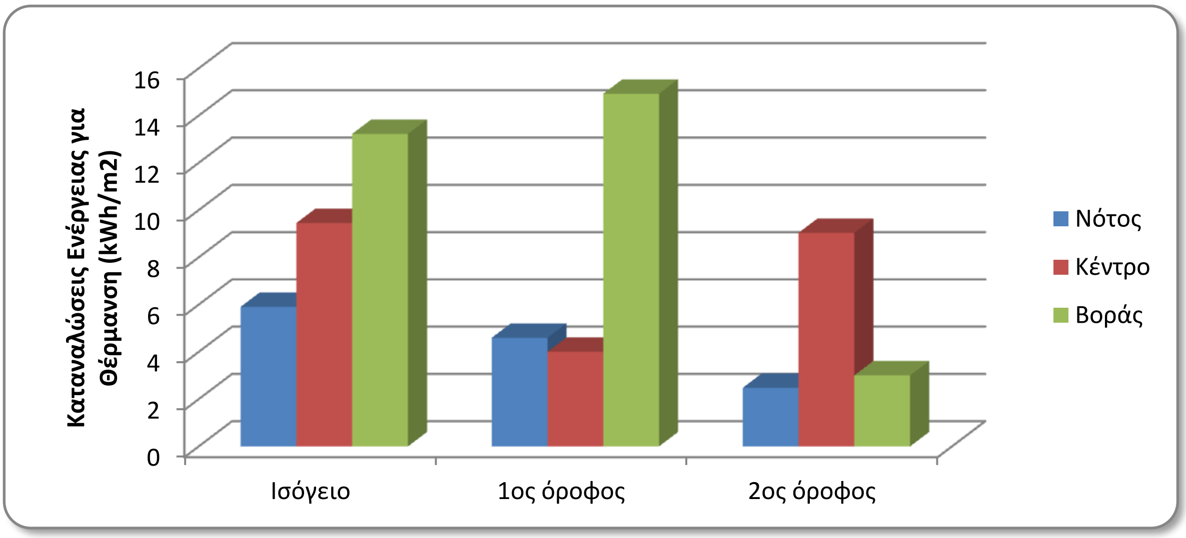
Σχήμα 4.4: Φορτία θέρμανσης ανά όροφο και θερμική ζώνη του Κτηρίου Επιστημών



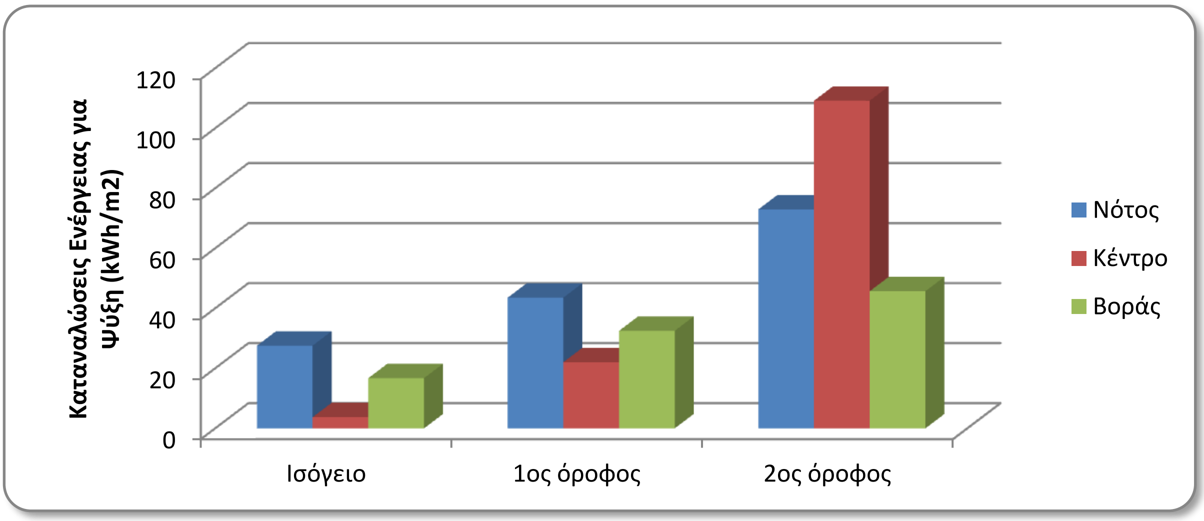
Σχήμα 4.5: Φορτία ψύξης ανά όροφο και θερμική ζώνη του Κτηρίου Επιστημών

Από τα Σχήματα που προηγήθηκαν παρατηρείται ότι τα φορτία ψύξης είναι αισθητά μεγαλύτερα από τα φορτία θέρμανσης, πράγμα αναμενόμενο καθ' ότι τα Χανιά είναι πόλη που έχει μεγαλύτερες ανάγκες για θερμική άνεση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες παρά τους χειμερινούς. Επιπλέον όσο αυξάνεται ο όροφος του κτηρίου, οι ανάγκες για θέρμανση μειώνονται εξαιτίας της μεγάλης επιφάνειας υαλοστασίων που επιτρέπουν μεγαλύτερη διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ για τον ίδιο ακριβώς λόγο, οι ανάγκες για ψύξη αυξάνονται.

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι καταναλώσεις ενέργειας για ανάγκες θέρμανσης και ψύξης, λαμβάνοντας υπόψη την απόδοση του συστήματος θέρμανσης - ψύξης, συγκεκριμένα τον συντελεστή απόδοσης συστήματος θέρμανσης n=0.9 καθώς και τον συντελεστή απόδοσης COP=2.2 για το σύστημα ψύξης, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.6 και 4.7 αντίστοιχα για ανάγκες θέρμανσης και ψύξης. Αντίστοιχη συμπεριφορά με τα φορτία παρατηρείται για τις ενεργειακές καταναλώσεις εξαιτίας των ίδιων λόγων που προαναφέρθηκαν.



Σχήμα 4.6: Καταναλώσεις ενέργειας για ανάγκες θέρμανσης ανά όροφο και θερμική ζώνη του Κτηρίου Επιστημών

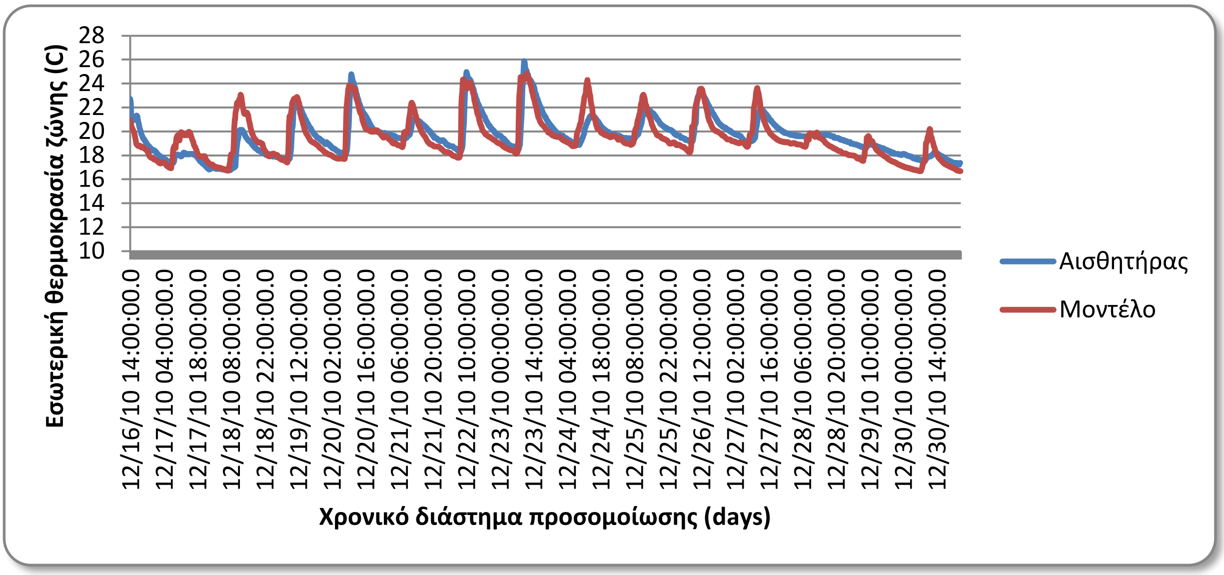


Σχήμα 4.7: Καταναλώσεις ενέργειας για ανάγκες ψύξης ανά όροφο και θερμική ζώνη του Κτηρίου Επιστημών

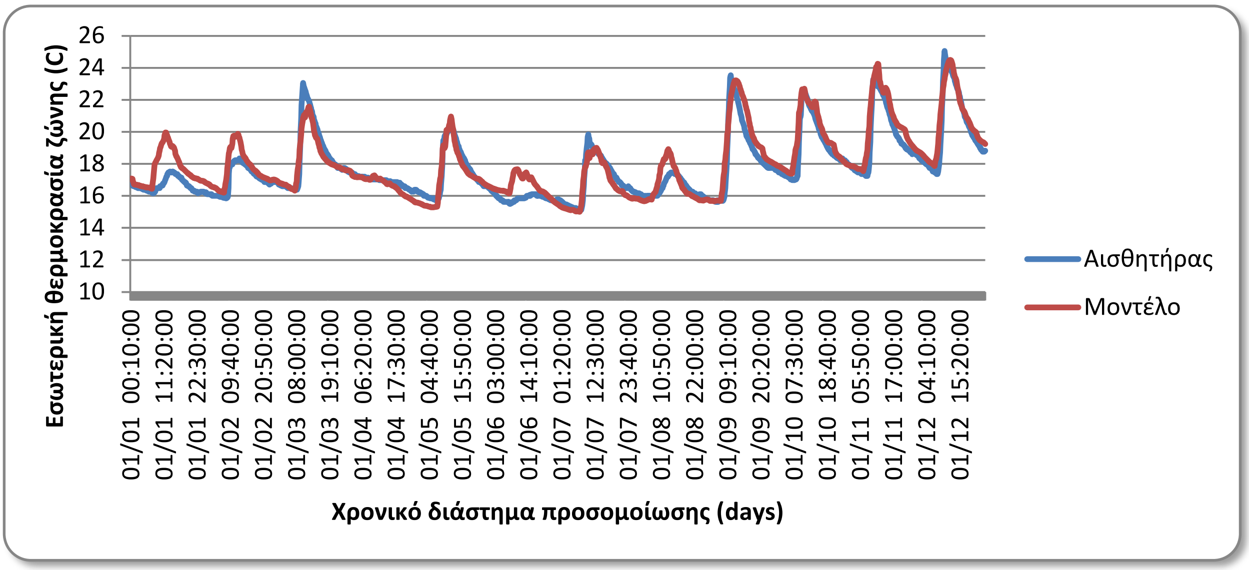
4.7 Επικύρωση πιστότητας του μοντέλου

Με σκοπό την επικύρωση της αξιοπιστίας των δεδομένων που εξάγονται από το μοντέλο προσομοίωσης, τοποθετήθηκαν αισθητήρες θερμοκρασίας (data loggers) στο ισόγειο και στον 2^{ο} όροφο του Κτηρίου Επιστημών, κατά την περίοδο διακοπών Χριστουγέννων.

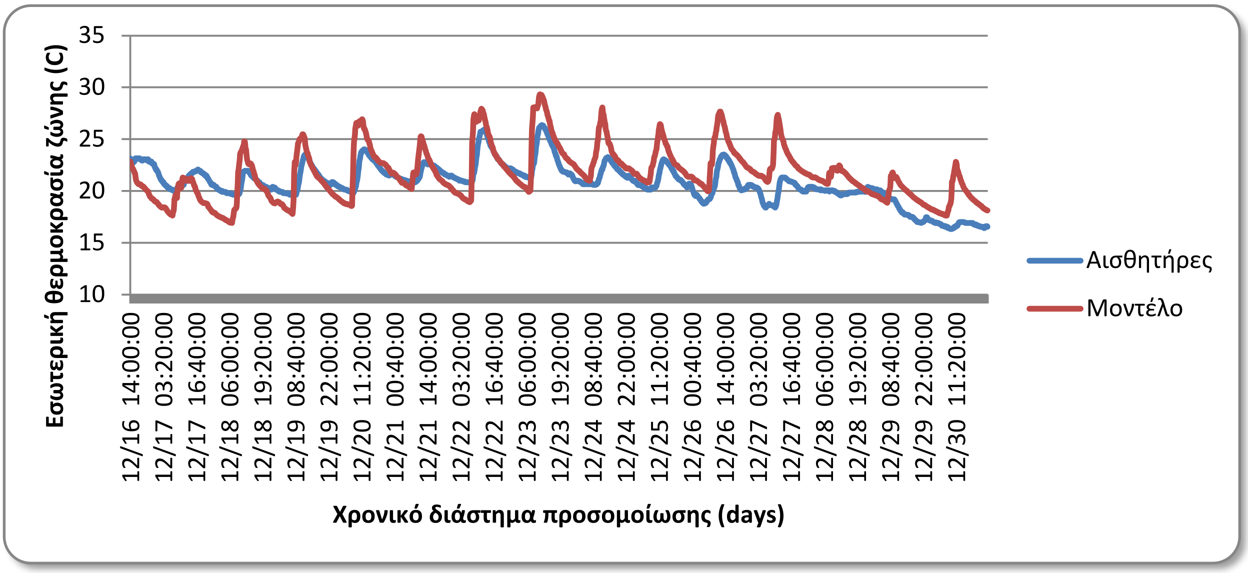
Τα δεδομένα των αισθητήρων τέθηκαν σε σύγκριση με τα δεδομένα που προέκυψαν από το μοντέλο, τόσο για την αντίστοιχη θερμική ζώνη του κτηρίου όσο και για τις αντίστοιχες χρονικές στιγμές, όπως παρουσιάζεται στα Σχήματα 4.8, 4.9 για το ισόγειο και στα σχήματα 4.10, 4.11 για τον 2^{ο} όροφο.



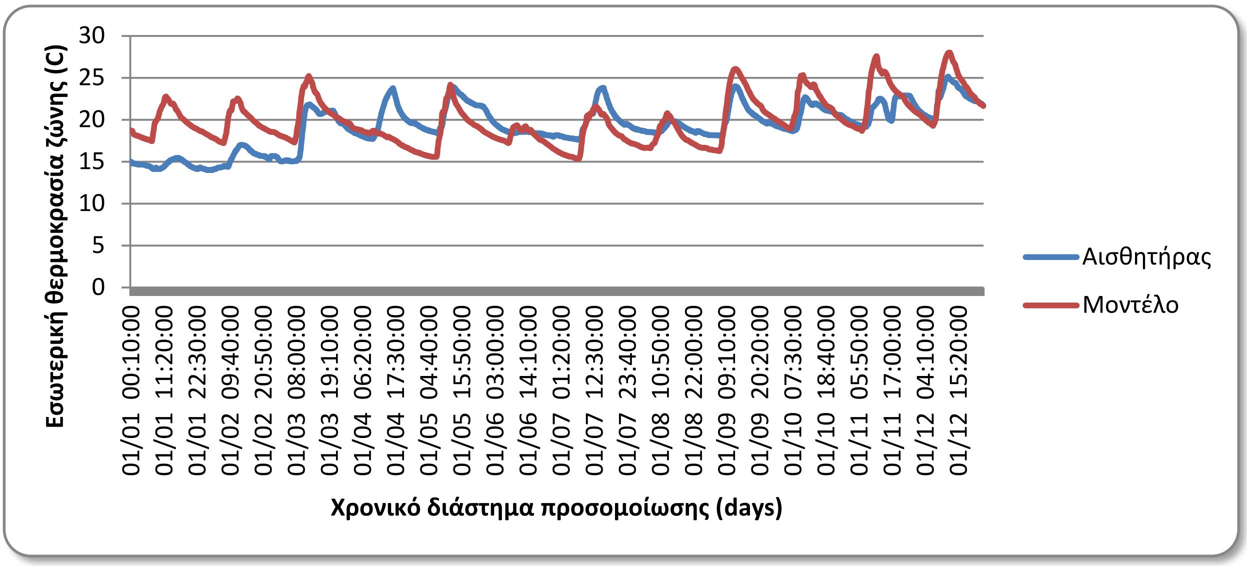
Σχήμα 4.8: Σύγκριση δεδομένων αισθητήρα - μοντέλου- Ισόγειο-Δεκέμβριος



Σχήμα 4.9:Σύγκριση δεδομένων αισθητήρα - μοντέλου- Ισόγειο-Νότιος προσανατολισμός- Ιανουάριος



Σχήμα 4.10: Σύγκριση δεδομένων αισθητήρα - μοντέλου- 2^{ου} ορόφου-Δεκέμβριος



Σχήμα 4.11: Σύγκριση δεδομένων αισθητήρα - μοντέλου- 2ου ορόφου-Ιανουάριος

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω Σχήματα, το μοντέλο προσομοίωσης ταυτίζεται με τις μετρούμενες τιμές των αισθητήρων, γεγονός που καθιστά το μοντέλο αξιόπιστο και κατάλληλο να αναπαραστήσει με ακρίβεια την πραγματική συμπεριφορά του κτηρίου.

Κεφάλαιο 5 : Μέτρα ενεργειακής βελτίωσης κτηρίου

5.1 Γενική αναφορά σε μέτρα ενεργειακής βελτίωσης κτηρίου

Σύμφωνα με τις διαθέσιμες πληροφορίες και τα αποτελέσματα που αναλύθηκαν από την επιθεώρηση, ο ενεργειακός επιθεωρητής κάνει κάποιες ενδεικτικές συστάσεις για την μείωση θερμικών και ψυκτικών φορτίων του κτηρίου και εν γένει για την βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς του κτηρίου. Οι συστάσεις αυτές ιεραρχούνται με βάση την κρίση του επιθεωρητή και εφαρμόζονται κατά περίπτωση, σύμφωνα με τις ανάγκες του κάθε κτηρίου.

Οι συστάσεις εξοικονόμησης ενέργειας αφορούν την μείωση θερμικών απωλειών μέσω του κτηριακού κελύφους, την βέλτιστη αξιοποίηση των ηλιακών κερδών για παθητική θέρμανση χώρων, το λέβητα - καυστήρα, την γενικότερη εγκατάσταση θέρμανσης - ψύξης που χρησιμοποιείται καθώς επίσης και την ενσωμάτωση Α.Π.Ε. στο κτήριο (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-4/2010).

Στο παρόν κεφάλαιο μελετώνται κάποιες δυνατές επεμβάσεις στο κτήριο και αξιολογείται η αποτελεσματικότητά τους στην μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων του κτηρίου, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην εκάστοτε πιθανή επέμβαση.

5.2 Σενάρια ενεργειακής βελτίωσης στο υπό μελέτη κτήριο

Με σκοπό την βελτίωση του ενεργειακού προφίλ του εξεταζόμενου κτηρίου αξιολογούνται όλες οι πιθανές συστάσεις εξοικονόμησης ενέργειας.

Οι συστάσεις που αφορούν στην μείωση των θερμικών απωλειών μέσω του κτηριακού κελύφους δεν κρίνονται σκόπιμες καθ΄ ότι το κτήριο είναι πρόσφατα κατασκευασμένο (ολοκληρώθηκε το 2009) και γι' αυτό είναι θερμικά μονωμένο. Πιο συγκεκριμένα, τα κουφώματα είναι αεροστεγανά, οι υαλοπίνακες είναι διπλοί, η οροφή και οι τοίχοι επίσης είναι επαρκώς θερμομονωμένοι ενώ δεν υπάρχουν ρωγμές στις οποίες να απαιτείται βελτίωση αεροστεγανότητας (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-4/2010).

Δεδομένου ότι δεν υπάρχει λέβητας οι σχετικές συστάσεις δεν κρίνονται κατάλληλες. Επιπρόσθετα, το σύστημα θέρμανσης και ψύξης που χρησιμοποιείται είναι αποδοτικό και διαθέτει νέες μονάδες με σχεδόν ιδανικούς συντελεστές απόδοσης εφόσον ξεκίνησε να λειτουργεί από το 2009. Οι αεραγωγοί, οι δεξαμενές αποθήκευσης νερού και οι κλιματιστικές μονάδες είναι κατασκευασμένοι και θερμομονωμένοι επαρκώς σύμφωνα με τα πρότυπα της ASHRAE ενώ η αντλία που χρησιμοποιείται είναι τεχνολογίας μεταβλητής ροής (inverter). Ακόμα η λειτουργία των FCUs ελέγχεται μέσω χειριστηρίων, τα οποία περιλαμβάνουν ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (controller), επιλογέα τριών ταχυτήτων του ανεμιστήρα ανάλογα με τις ανάγκες του κτηρίου, αναμονή λειτουργίας καθώς επίσης και θερμοστάτη. Εκτός των άλλων, το κτήριο διαθέτει σύστημα κεντρικού ελέγχου (BMS) μέσω του οποίου είναι δυνατός ο πλήρης έλεγχος του συστήματος θέρμανσης - ψύξης, του φωτισμού και των ανελκυστήρων. Συνεπώς κάθε είδους βλάβη επισημαίνεται άμεσα ώστε να πραγματοποιηθεί η αντίστοιχη παρέμβαση.

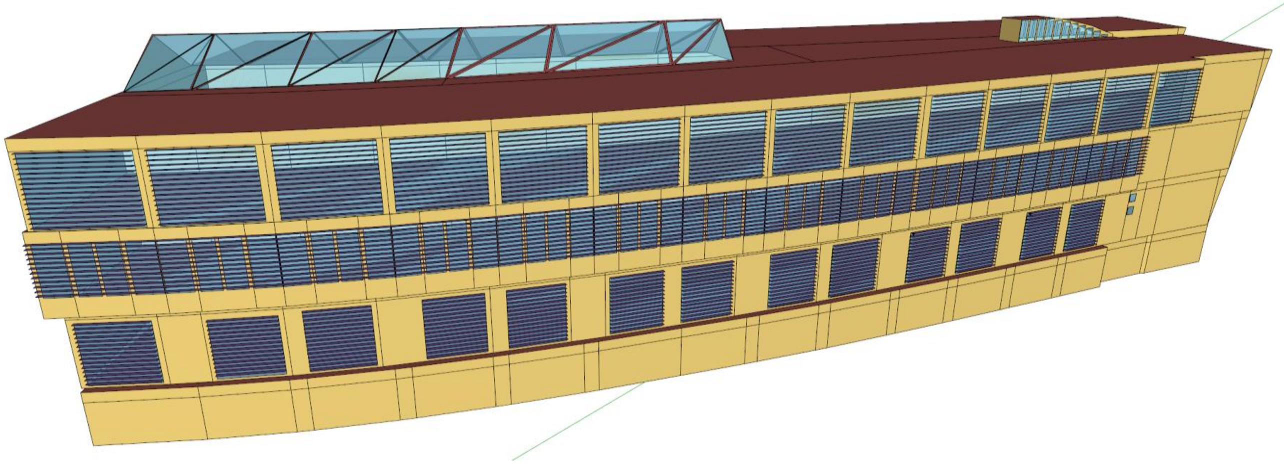
Τέλος, όσον αφορά στις εφαρμογές των ΑΠΕ στο κτήριο, υπάρχουν ηλιακοί συλλέκτες 40m^2 για κάλυψη αναγκών σε ΖΝΧ. Η εφαρμογή φωτοβολταϊκών πλαισίων στην επιφάνεια του δώματος δεν κρίνεται ιδιαιτέρως αποτελεσματική καθώς στο δώμα είναι τοποθετημένες οι κλιματιστικές μονάδες του συστήματος θέρμανσης - ψύξης του κτηρίου. Παρότι υπάρχει 800m^2 διαθέσιμη επιφάνεια δώματος στη στάθμη των πτερύγων, η επιφάνεια αυτή είναι σποραδικά ελεύθερη λόγω των κλιματιστικών μονάδων που υπάρχουν (Εικόνα 5.1 (α)). Συνεπώς δεν κρίνεται αποτελεσματικό μέτρο εξοικονόμησης ενέργειας εφόσον θα σκιάζεται από τις μονάδες που βρίσκονται διάσπαρτα τοποθετημένες στο δώμα. Αντίστοιχα η επιφάνεια στη στάθμη του πυρήνα θα σκιάζεται από τον πυρήνα, συνεπώς ούτε αυτή η επιφάνεια κρίνεται κατάλληλη για τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πλαισίων (Εικόνα 5.1 (β)).

Εικόνα 5. 1: α) Δώμα πτερύγων, β) Δώμα πυρήνα του κτηρίου Επιστημών

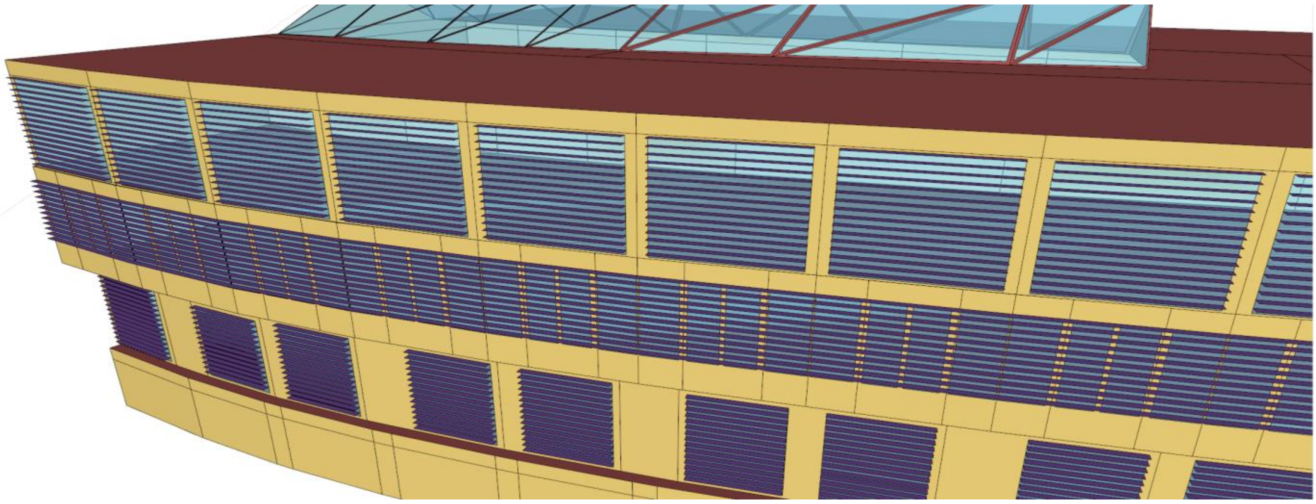
Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω δεδομένα και τις ιδιαιτερότητες του υπό μελέτη κτηρίου, προτείνεται η εφαρμογή των ακόλουθων σεναρίων ενεργειακής εξοικονόμησης.

5.3 Σενάριο 1: Εξωτερικά σκίαστρα

Εξετάζεται η περίπτωση εξωτερικών σταθερών σκιάστρων, τα οποία θα έχουν κλίση κάθετη προς τα υαλοστάσια ούτως ώστε να μην επιτρέπουν την διείσδυση του ηλίου το καλοκαίρι ενώ παράλληλα να επιτρέπουν την όποια ηλιοφάνεια που υπάρχει τους χειμερινούς μήνες. Στο σενάριο αυτό εξετάστηκε η πλήρης εφαρμογή προβόλων σε όλα τα υαλοστάσια της νότιας πρόσοψης του κτηρίου όπως φαίνεται στις Εικόνες 5.2, 5.3. Τα σκίαστρα είναι οριζόντια, κλίσης 90° και πλάτους 0.2m.



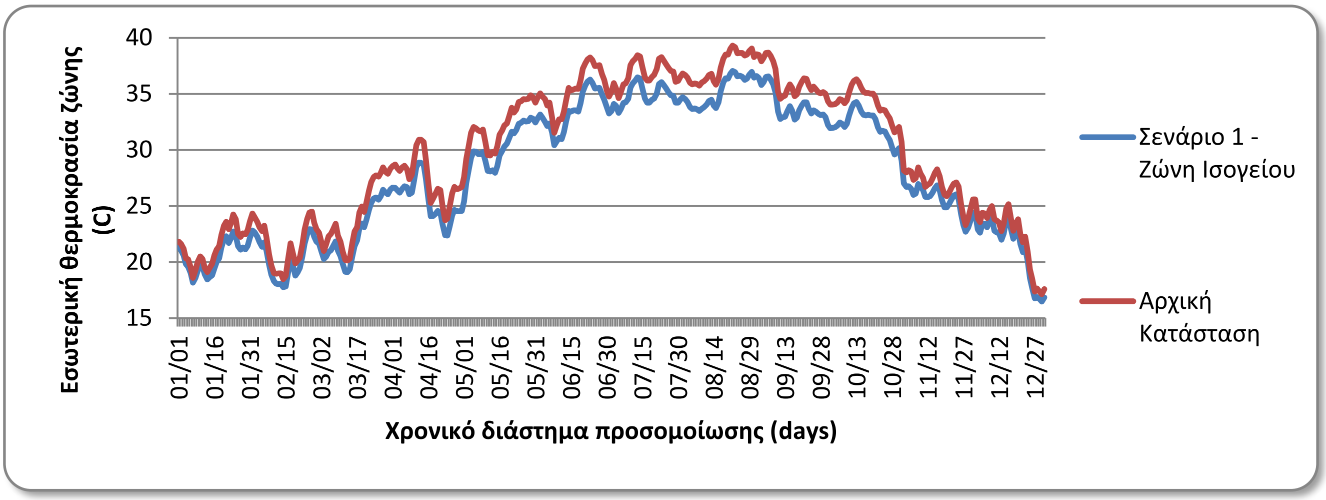
Εικόνα 5.2: Σενάριο εξωτερικών σκιάστρων στη νότια πρόσοψη του κτηρίου



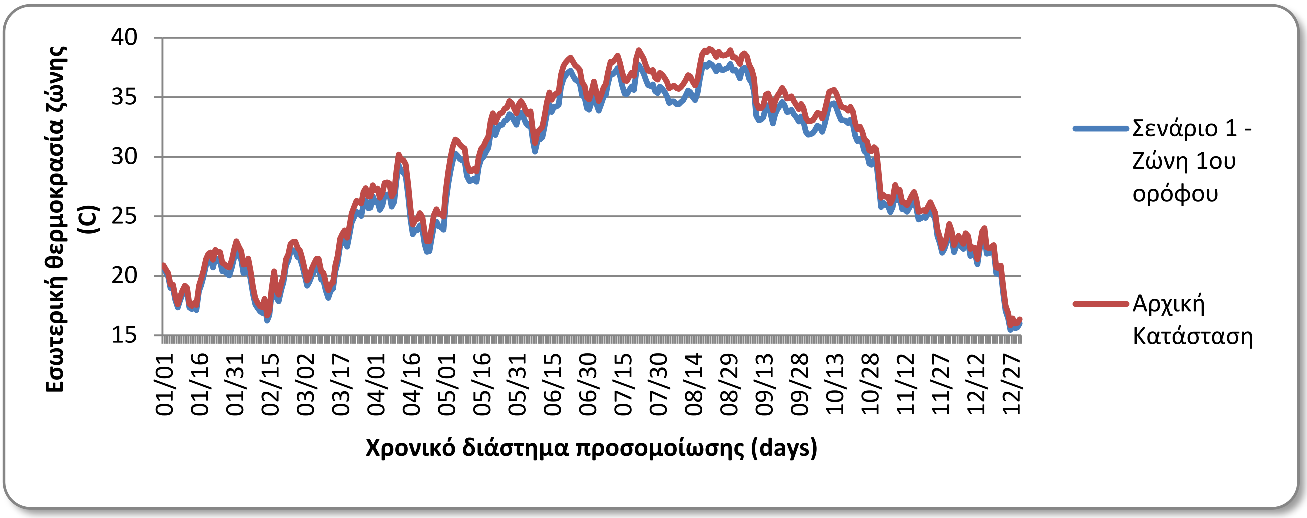
Εικόνα 5.3: Κοντινή όψη εξωτερικών σκιάστρων στη νότια πρόσοψη του κτηρίου

5.3.1 Σενάριο 1: Εσωτερικές Θερμοκρασίες

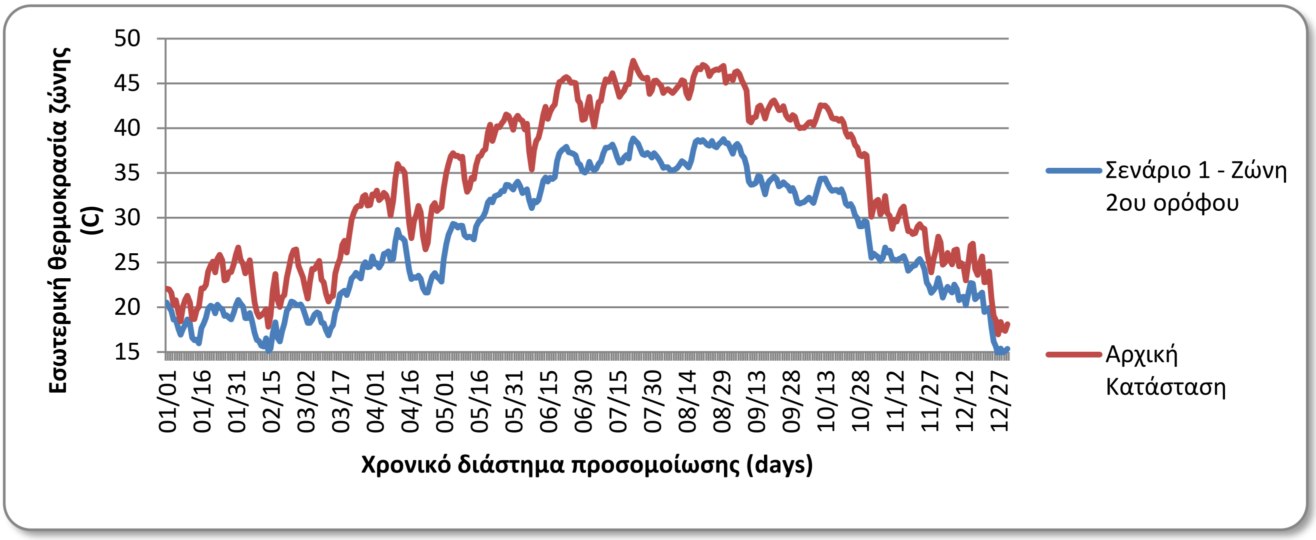
Ένας οριζόντιος πρόβολος πάνω από ένα νότια προσανατολισμένο παράθυρο επιτρέπει στο χειμερινό ήλιο, που βρίσκεται χαμηλά στον ορίζοντα να περάσει στο εσωτερικό του κτηρίου, ενώ το καλοκαίρι τον εμποδίζει. Για το λόγο αυτό, η εφαρμογή εξωτερικών σκιάστρων αποβαίνει ιδιαιτέρως αποτελεσματική στην ενεργειακή συμπεριφορά του κτηρίου, όπως αποδεικνύεται στα Σχήματα 5.1 έως 5.9 που ακολουθούν, όπου παρατίθενται οι εσωτερικές θερμοκρασίες των θερμικών ζωνών υπό συνθήκες φυσικής κατάστασης του κτηρίου, δηλαδή χωρίς την χρήση συστήματος θέρμανσης - ψύξης.



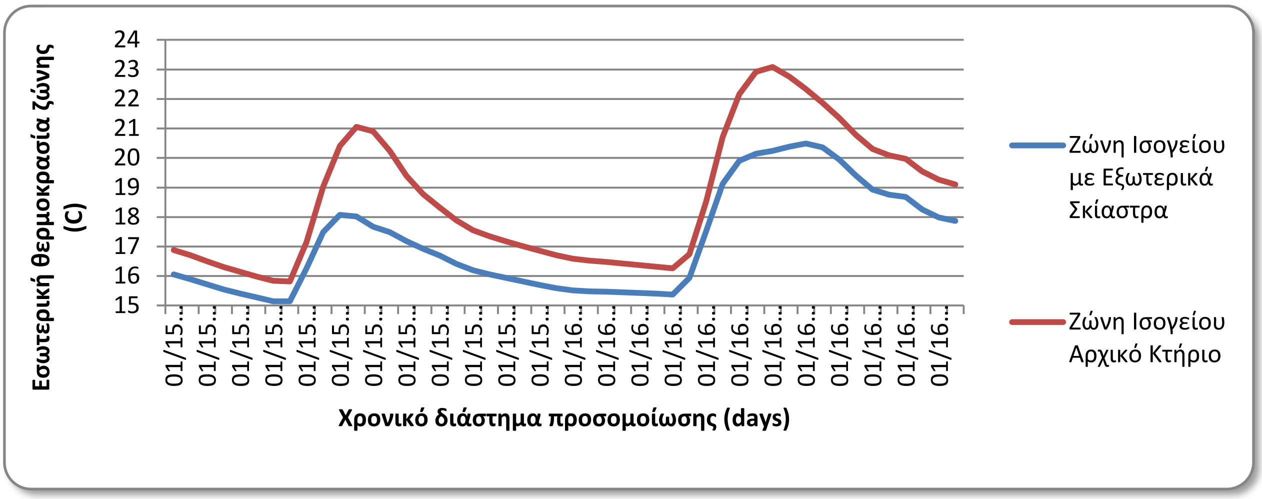
Σχήμα 5.1: Ετήσια μέση εσωτερική θερμοκρασία, ζώνη ισογείου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 1



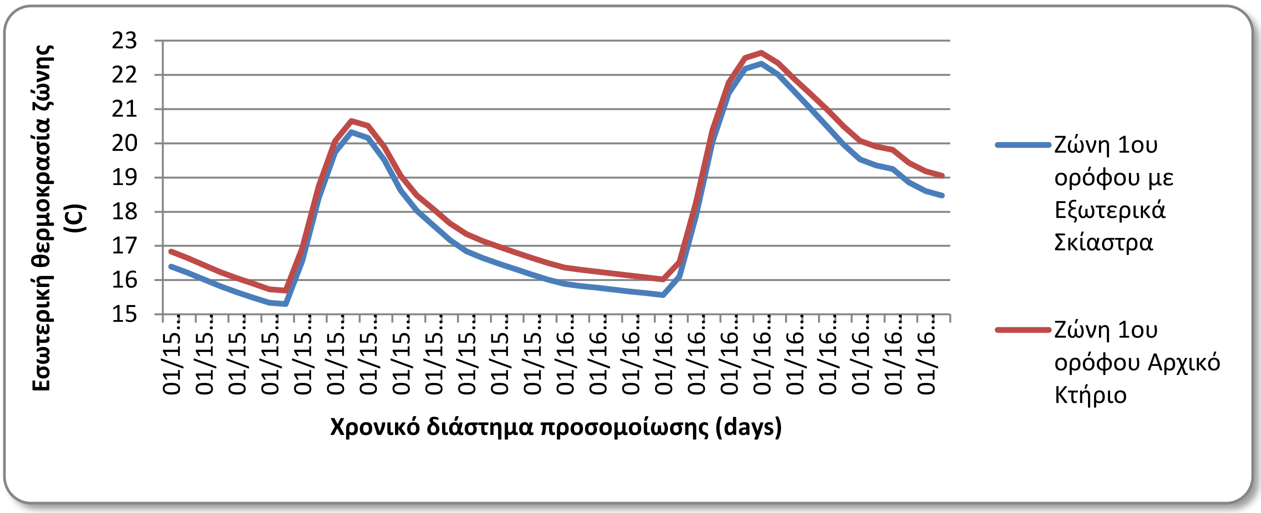
Σχήμα 5.2: Ετήσια μέση εσωτερική θερμοκρασία, ζώνη 1^{ου} ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 1



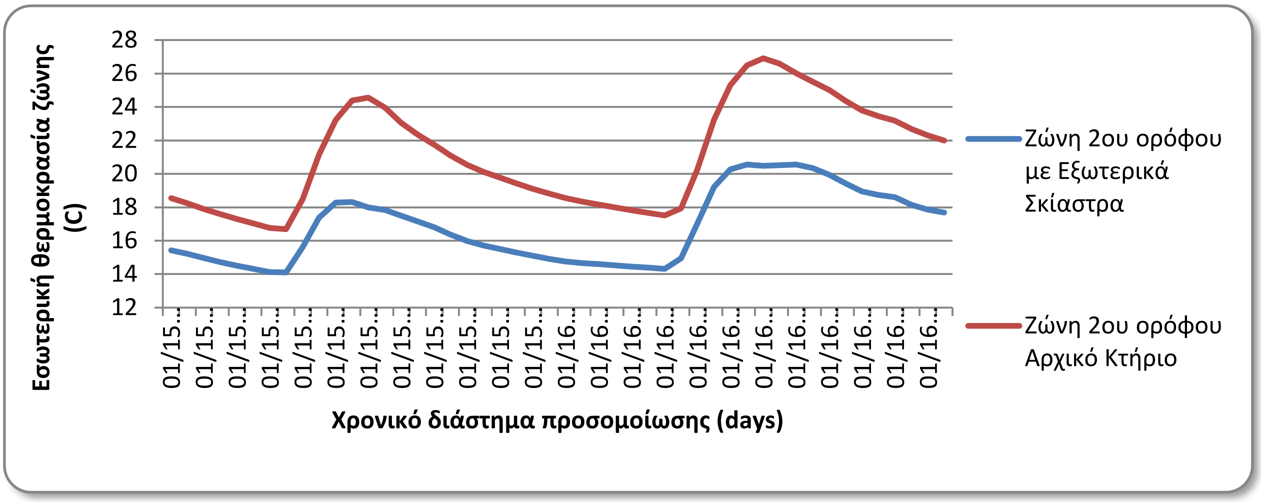
Σχήμα 5.3: Ετήσια μέση εσωτερική θερμοκρασία, ζώνη 2^{ου} ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 1



Σχήμα 5.4: Ωριαία μέση εσωτερική θερμοκρασία κατά τη διάρκεια χειμερινών ημερών (15-16 Ιανουαρίου), ζώνη ισογείου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 1

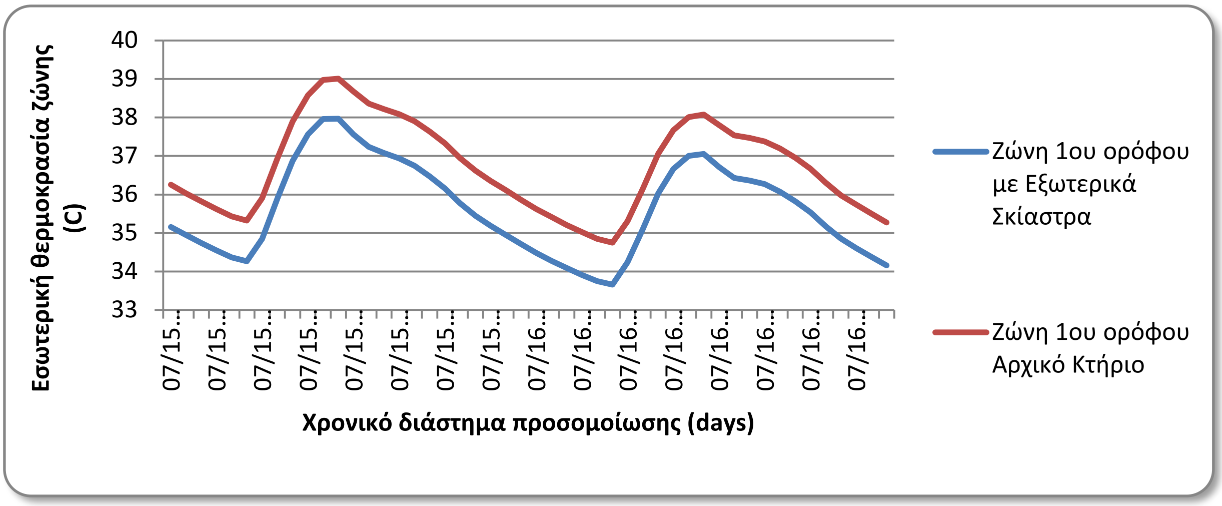


Σχήμα 5.5: Ωριαία μέση εσωτερική θερμοκρασία κατά τη διάρκεια χειμερινών ημερών (15-16 Ιανουαρίου), ζώνη 1ου ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 1

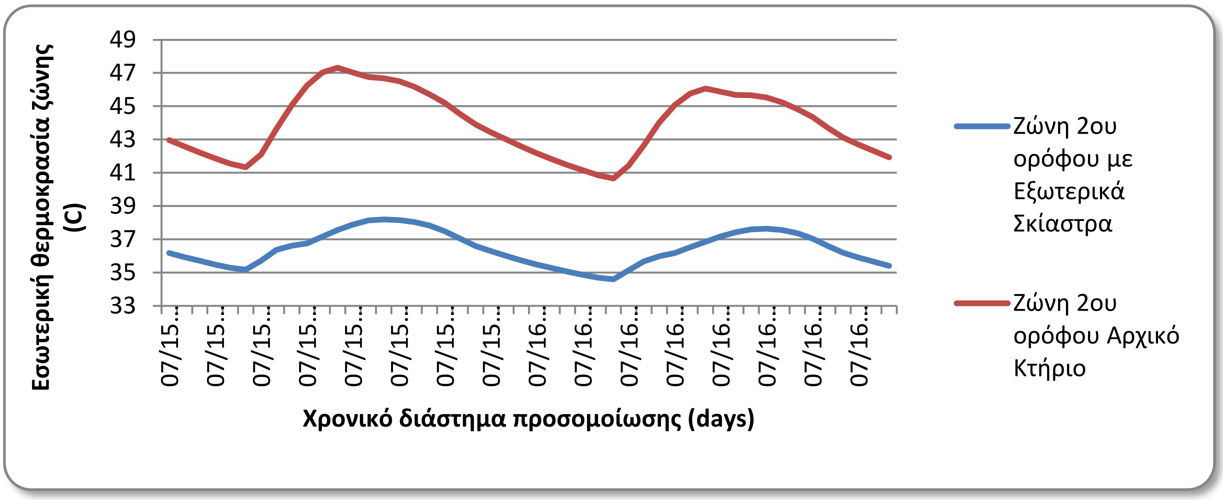


Σχήμα 5.6: Ωριαία μέση εσωτερική θερμοκρασία κατά τη διάρκεια χειμερινών ημερών (15-16 Ιανουαρίου), ζώνη 2ου ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 1

Σχήμα 5.7: Ωριαία μέση εσωτερική θερμοκρασία κατά τη διάρκεια καλοκαιρινών ημερών (15-16 Ιουλίου), ζώνη ισογείου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 1



Σχήμα 5.8: Ωριαία μέση εσωτερική θερμοκρασία κατά τη διάρκεια καλοκαιρινών ημερών (15-16 Ιουλίου), ζώνη 1^{ου} ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 1



Σχήμα 5.9: Ωριαία μέση εσωτερική θερμοκρασία κατά τη διάρκεια καλοκαιρινών ημερών (15-16 Ιουλίου), ζώνη 2^{ου} ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 1

Στη ζώνη ισογείου νότιου προσανατολισμού η θερμοκρασία ζώνης μειώνεται ετησίως κατά μέσο όρο κατά 1.6°C με την εφαρμογή των σκιάστρων, στη ζώνη του πρώτου ορόφου 0.8°C και τέλος στη ζώνη του δευτέρου ορόφου 6.2°C. Συγκεκριμένα κατά την καλοκαιρινή περίοδο Ιουνίου, Ιουλίου, Αυγούστου παρατηρείται πτώση θερμοκρασίας κατά 2, 1.1 και 7.7°C κατά μέση τιμή για ισόγειο, 1^{ο} και 2^{ο} όροφο αντίστοιχα.

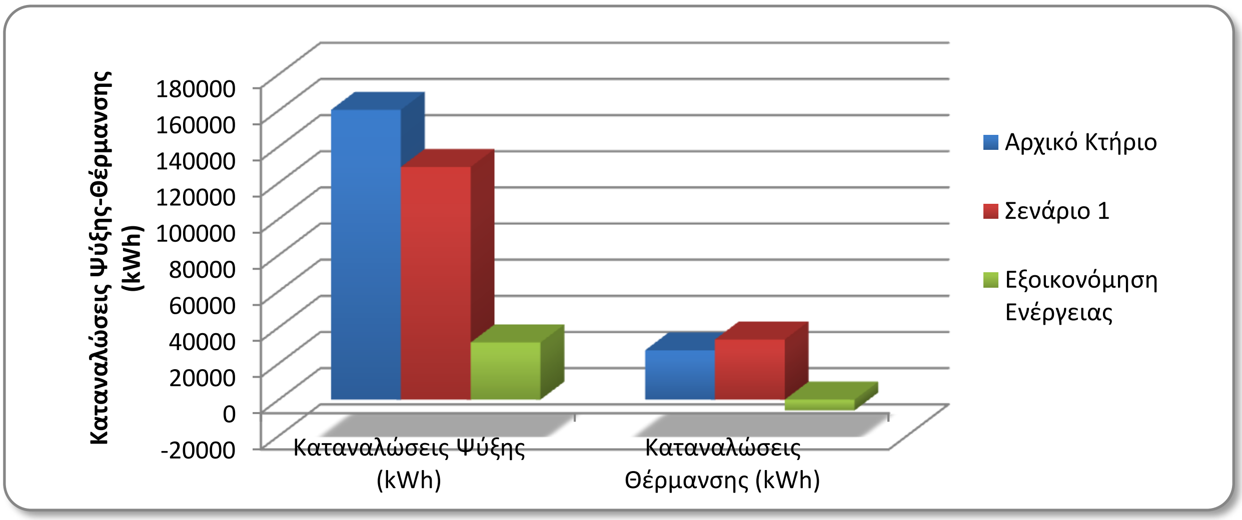
Η μικρή σχετικά μείωση της θερμοκρασίας στη ζώνη του 1^{ου} ορόφου σε σχέση με τους υπόλοιπους ορόφους ενδεχομένως να οφείλεται στην ύπαρξη ενός ενιαίου εξωτερικού σκιάστρου που υπάρχει στην υφιστάμενη κατάσταση του κτηρίου. Η μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα παρατηρείται στη ζώνη του 2^{ου} ορόφου λόγω του ο 2^{ος} όροφος διαθέτει την μεγαλύτερη επιφάνεια υαλοστασίων σε σχέση με τις υπόλοιπους ορόφους.

Αξίζει παράλληλα να προστεθεί ότι κατά την χειμερινή περίοδο μειώνεται επίσης κατά ένα μικρό βαθμό η εσωτερική θερμοκρασία λόγω του ότι διεισδύει μικρότερο ποσοστό ακτινοβολίας και κατά τους χειμερινούς μήνες. Πιο συγκεκριμένα, κατά την χειμερινή περίοδο Δεκεμβρίου, Ιανουαρίου, Φεβρουαρίου παρατηρείται πτώση θερμοκρασίας κατά 1, 0.5 και 3.9°C κατά μέση τιμή για ισόγειο, 1^{ο} και 2^{ο} όροφο αντίστοιχα.

5.3.2 Σενάριο 1: Καταναλώσεις Ενέργειας

Οι μειώσεις των θερμοκρασιών στο σύνολο του έτους έχουν ως άμεσο επακόλουθο προφανώς την μείωση των καταναλώσεων για ανάγκες ψύξης ενώ παράλληλα την αύξηση των καταναλώσεων για κάλυψη αναγκών θέρμανσης.

Οι καταναλώσεις ενέργειας που προκύπτουν από την εφαρμογή των εξωτερικών σκιάστρων σε σχέση με το αρχικό κτήριο, τόσο για την κάλυψη αναγκών θέρμανσης όσο και ψύξης παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.10 και Πίνακα 5.1 που ακολουθούν.



Σχήμα 5.10: Καταναλώσεις ενέργειας για ανάγκες θέρμανσης Σεναρίου 1 σε σύγκριση με υφιστάμενο κτήριο, Επίπεδο Ισογείου

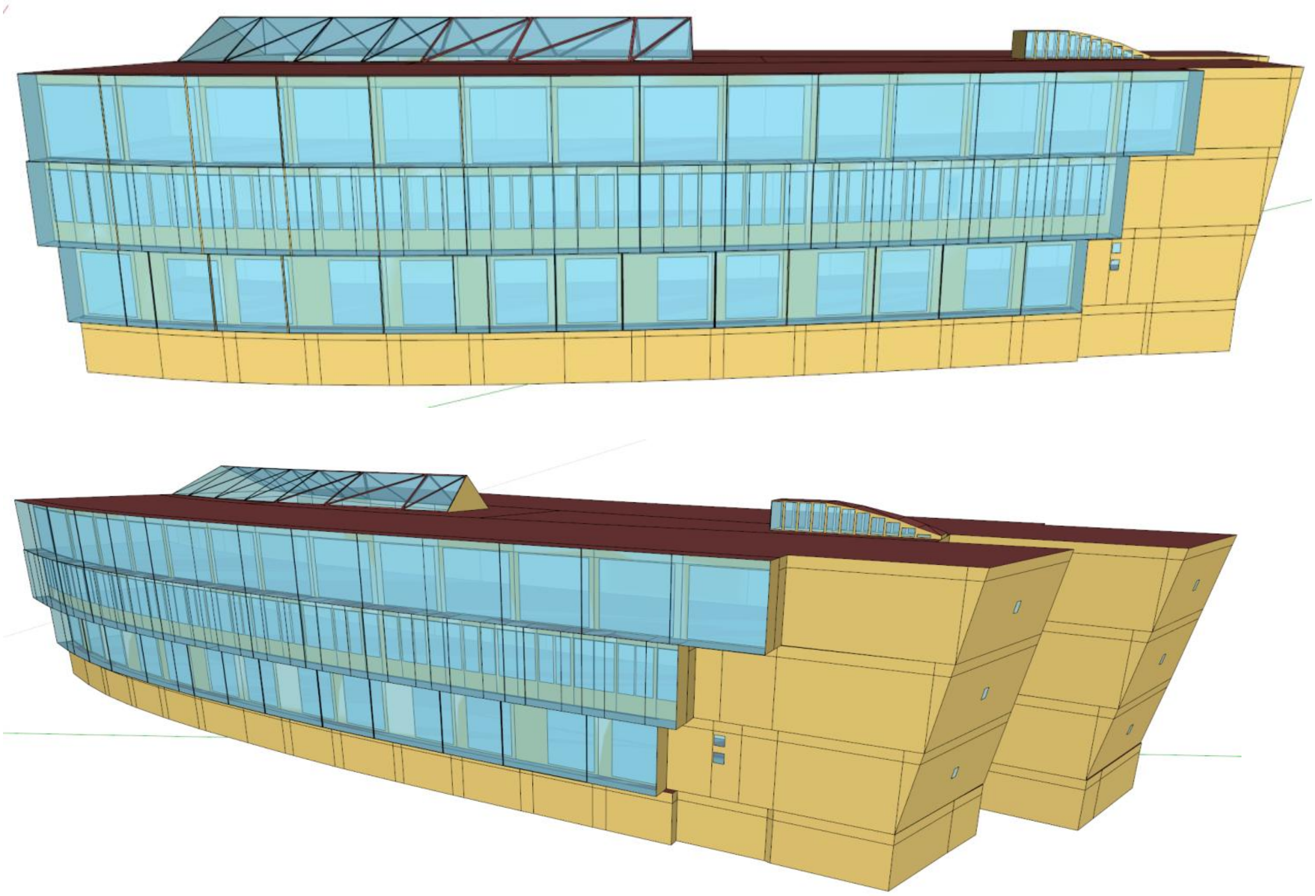
Λόγω του ότι απετράπη η είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας στον χώρο, η εφαρμογή των εξωτερικών σκιάστρων μείωσαν κατά μεγάλο βαθμό τις καταναλώσεις ενέργειας για ανάγκες ψύξης και αντίστοιχα αύξησαν τις καταναλώσεις ενέργειας για θέρμανση λόγω του ότι η ηλιακή ακτινοβολία δεν μπορεί να διεισδύσει ώστε να θερμάνει τον χώρο. Όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.1, η εφαρμογή του σεναρίου των εξωτερικών προβόλων προκαλεί εξοικονόμηση ποσοστού 20% για τις ανάγκες ψύξης στο σύνολο του κτηρίου ενώ μειώθηκαν κατά 21% οι καταναλώσεις θέρμανσης.

Πίνακας 5.1: Ενεργειακές καταναλώσεις συνολικού κτηρίου κατά την εφαρμογή του Σεναρίου 1

	Καταναλώσεις Ψύξης (kWh)	Καταναλώσεις Θέρμανσης (kWh)
Αρχικό Κτήριο	160361	27330
Σενάριο 1	128741	33285
Εξοικονόμηση Ενέργειας	31620	-5955
Ποσοστό Εξοικονόμησης	20%	-21%

5.4 Σενάριο 2: Διπλοκέλυφη πρόσοψη κτηρίου (DSF) με φυσικό αερισμό χαμηλού ρυθμού

Εξετάστηκε η περίπτωση εφαρμογής διπλοκέλυφης κατασκευής στη νότια πρόσοψη του κτηρίου, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.4. Τα υαλοστάσια που τοποθετούνται τόσο στο εξωτερικό όσο στο εσωτερικό κέλυφος είναι διπλά με διάκενο αέρα 12mm. Η κοιλότητα που δημιουργείται στο επίπεδο του 1ου και 2ου ορόφου είναι πλάτους 1m, όσο και το πλάτος του μπαλκονιού που υπάρχει στον 2ο όροφο ενώ για λόγους ομοιομορφίας, η κοιλότητα του ισογείου είναι πλάτους 1.825m λόγω του ότι οι εξωτερικοί τοίχοι του ισογείου δεν είναι κατασκευασμένοι στην ίδια κατακόρυφη ευθεία των παραπάνω επιπέδων.

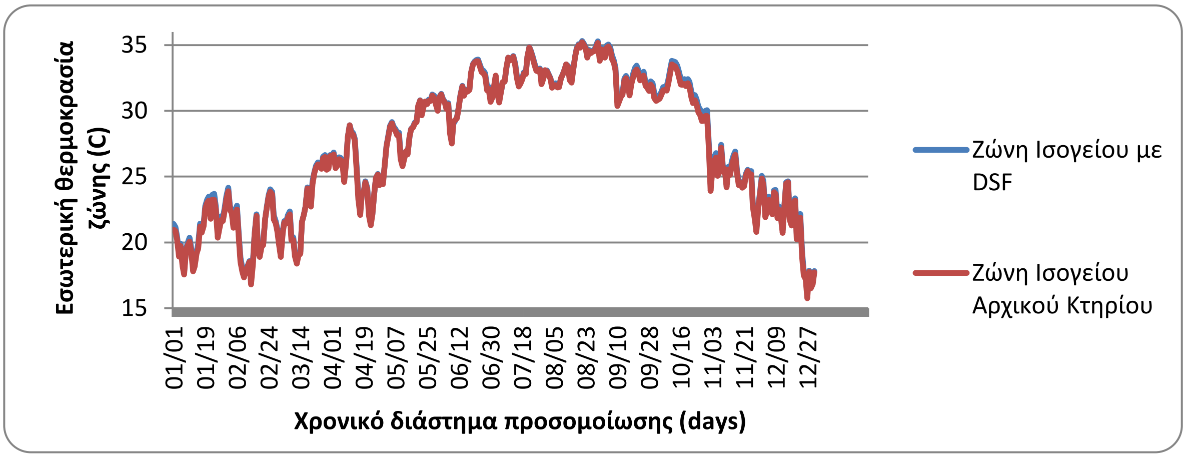


Εικόνα 5.4: Σενάριο διπλοκέλυφης πρόσοψης στο κτήριο επιστημών

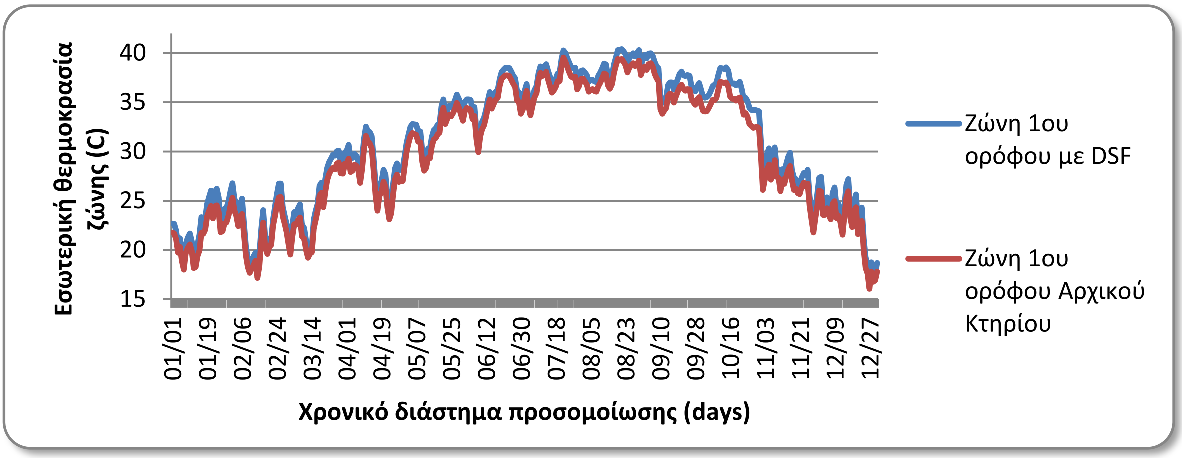
Ο αερισμός της κοιλότητας πραγματοποιείται με φυσικό μηχανισμό με αποτέλεσμα την εισροή αέρα 7lt/s ανά άτομο κατά το χρονικό διάστημα παραμονής ατόμων στις θερμικές ζώνες, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Δεν παρέχεται αερισμός της κοιλότητας διότι τόσο τα ανοίγματα των υαλοστασίων της διπλοκέλυφης κατασκευής όσο και αυτά των θερμικών ζωνών παραμένουν κλειστά. Ο διαχωρισμός της πρόσοψης είναι διπλή αεριζόμενη πρόσοψη τύπου «διάδρομος» (Corridor Type Ventilated Double Facade Partitioned per Storey) ενώ η ροή αέρα είναι τύπου ουδέτερης ζώνης (Buffer zone), δηλαδή δεν υπεισέρχεται αέρας στην κοιλότητα. Στην εν λόγω ροή αέρα, η κοιλότητα επωφελείται τα ηλιακά κέρδη και μεταφέρει την θερμότητα που απορροφά με αγωγή στο κυρίως κτήριο.

5.4.1 Σενάριο 2: Εσωτερικές θερμοκρασίες

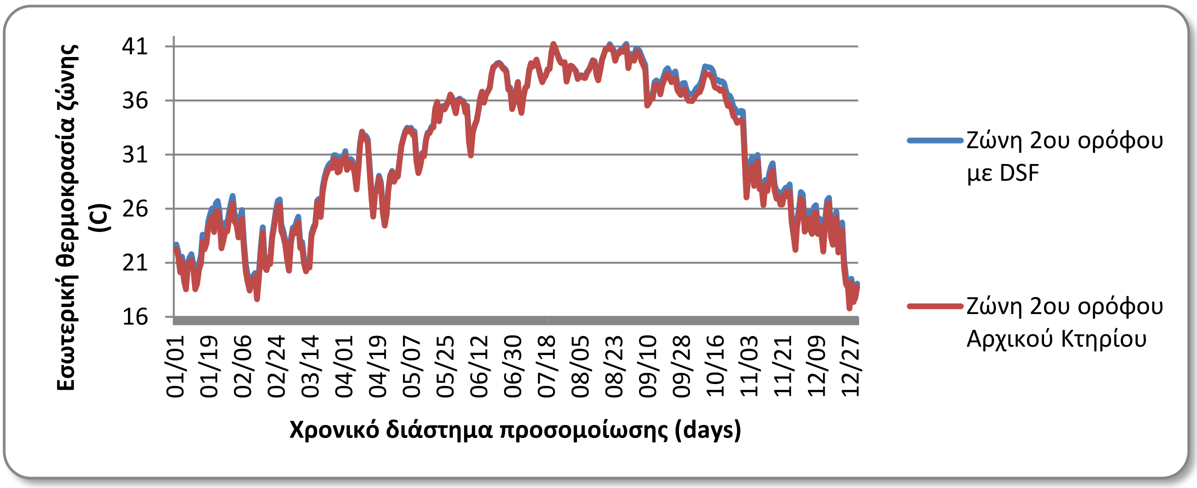
Οι εσωτερικές θερμοκρασίες των θερμικών ζωνών που προέκυψαν από την εφαρμογή του κτηρίου παρουσιάζονται στα Σχήματα που ακολουθούν.



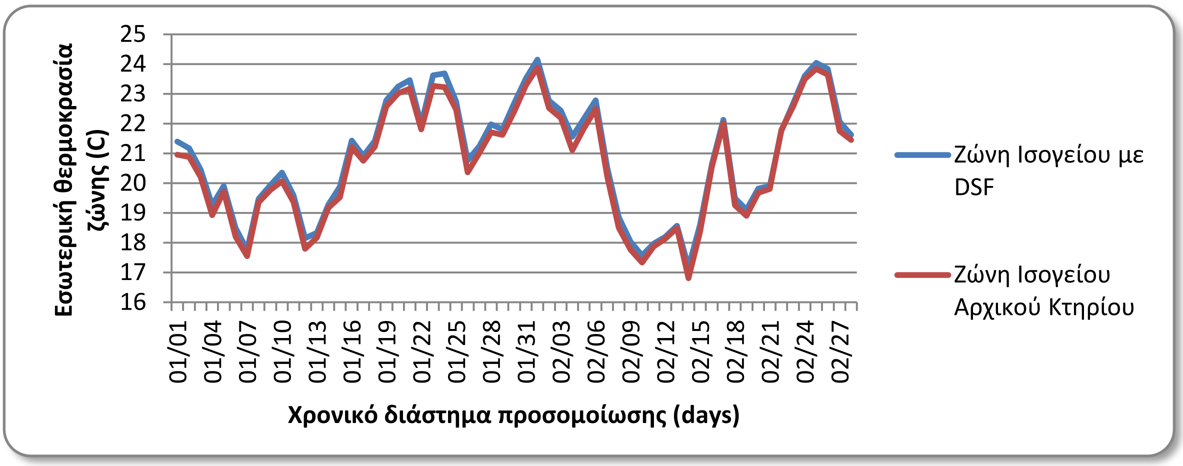
Σχήμα 5.11: Ετήσια μέση εσωτερική θερμοκρασία, ζώνη ισογείου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 2



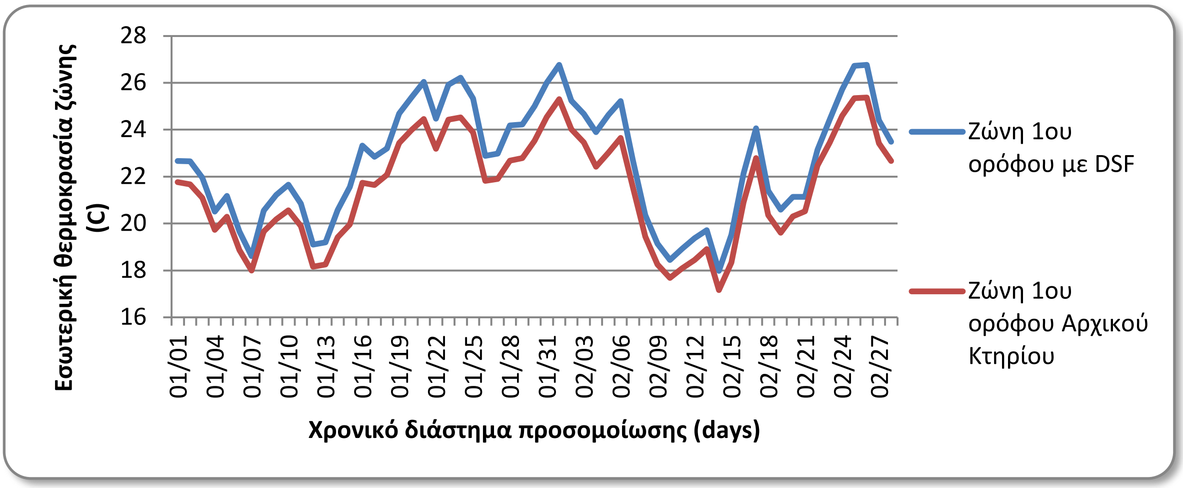
Σχήμα 5.12: Ετήσια μέση εσωτερική θερμοκρασία, ζώνη 1ου ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 2



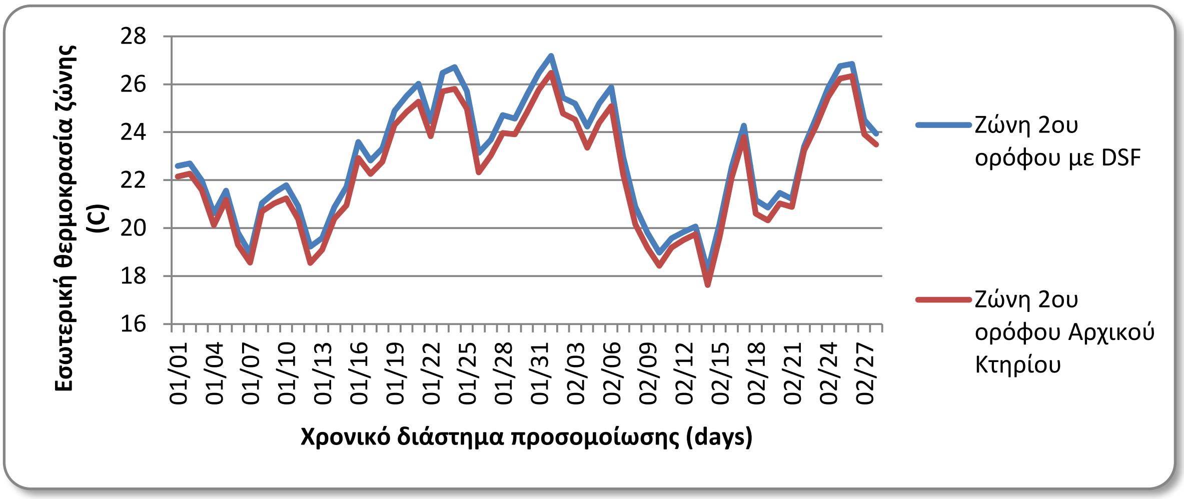
Σχήμα 5.13: Ετήσια μέση εσωτερική θερμοκρασία, ζώνη 2ου ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 2



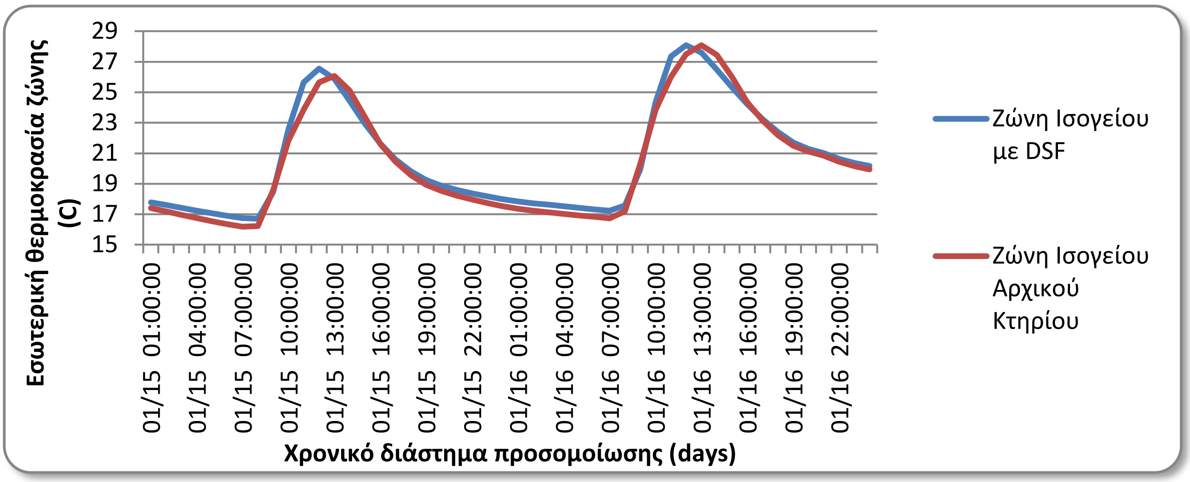
Σχήμα 5.14: Μέση εσωτερική θερμοκρασία χειμερινών μηνών (Ιανουάριος - Φεβρουάριος), ζώνη ισογείου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 2



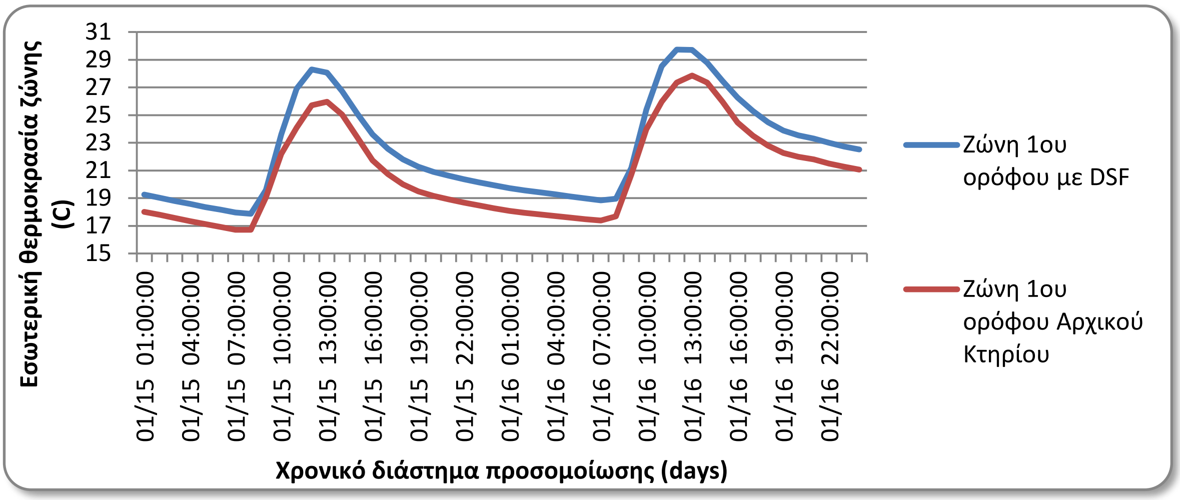
Σχήμα 5.15: Μέση εσωτερική θερμοκρασία χειμερινών μηνών (Ιανουάριος - Φεβρουάριος), ζώνη 1ου ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 2



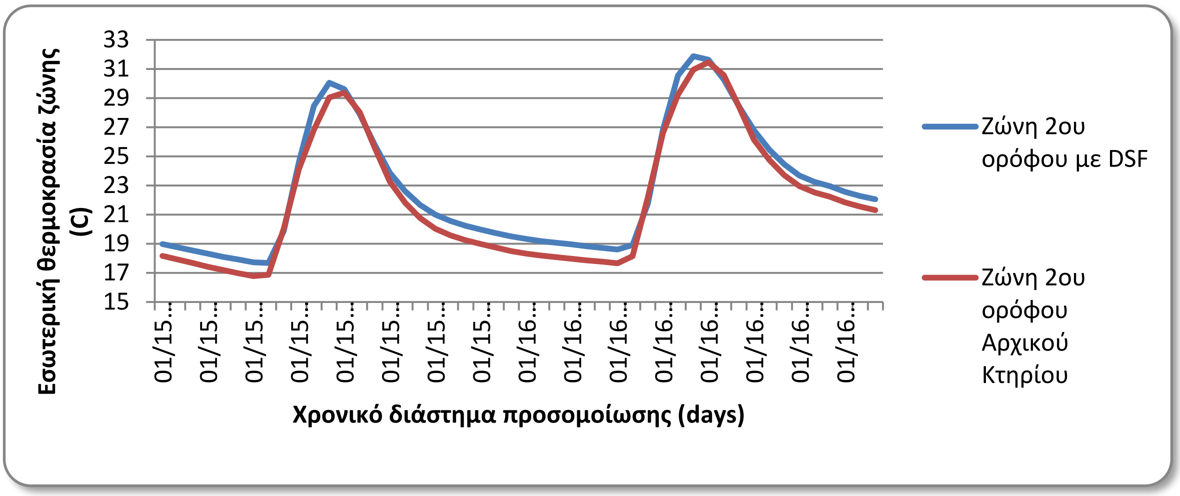
Σχήμα 5.16: Μέση εσωτερική θερμοκρασία χειμερινής περιόδου (Ιανουάριος - Φεβρουάριος), ζώνη 2ου ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 2



Σχήμα 5.17: Ωριαία μέση εσωτερική θερμοκρασία κατά τη διάρκεια χειμερινών ημερών (15-16 Ιανουαρίου), ζώνη ισογείου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 2



Σχήμα 5.18: Ωριαία μέση εσωτερική θερμοκρασία κατά τη διάρκεια χειμερινών ημερών (15-16 Ιανουαρίου), ζώνη 1^{ου} ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 2



Σχήμα 5.19: Ωριαία μέση εσωτερική θερμοκρασία κατά τη διάρκεια χειμερινών ημερών (15-16 Ιανουαρίου), ζώνη 2^{ου} ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 2

Παρατηρείται από τα παραπάνω γραφήματα ότι αυτός ο ρυθμός αερισμού ενδείκνυται κυρίως για την χειμερινή περίοδο του έτους και όχι τόσο για την καλοκαιρινή περίοδο. Συγκεκριμένα, κατά την χειμερινή περίοδο (Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος) αυξήθηκε η μέση εσωτερική θερμοκρασία κατά 0.3, 1.1 και 0.6°C στο επίπεδο του ισογείου, $1^{ου}$ και $2^{ου}$ ορόφου αντίστοιχα.

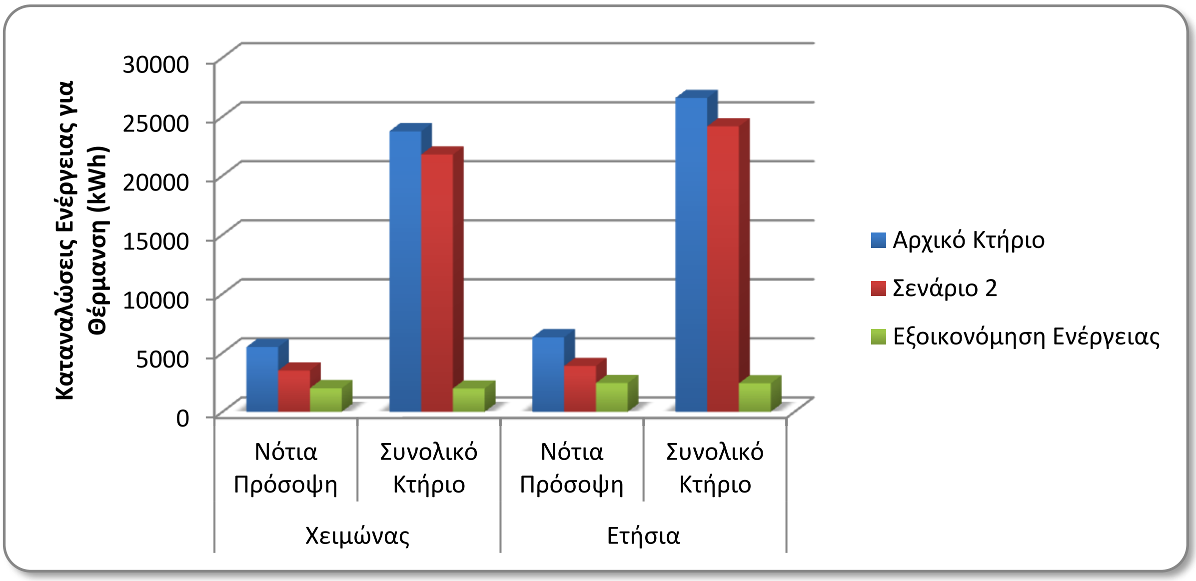
Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες παρατηρείται μία παρόμοια θερμοκρασιακή συμπεριφορά του διπλοκέλυφου κτηρίου με αυτήν της υφιστάμενης κατάστασης έως και μία μικρή θερμοκρασιακή αύξηση, λόγω του ότι δημιουργείται ένα είδος θερμοκηπίου κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Συγκεκριμένα τους καλοκαιρινούς μήνες (Μάιος, Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος) το ισόγειο και ο $2^{ος}$ όροφος δεν παρουσίασαν καμία θερμοκρασιακή μεταβολή, ενώ ο $1^{ος}$ όροφος παρουσίασε αύξηση της μέσης εσωτερικής θερμοκρασίας κατά 0.9°C.

Παρατηρούμε, λοιπόν ότι ο $1^{ος}$ όροφος παρουσιάζει την καλύτερη συμπεριφορά κατά τον χειμώνα ενώ κατά σειρά αποδοτικότητας ακολουθεί το επίπεδο του $2^{ου}$ ορόφου και ισογείου.

Η καλή απόδοση του σεναρίου στο επίπεδο του $1^{ου}$ ορόφου έγκειται στο ότι βρίσκεται ανάμεσα στα άλλα δύο επίπεδα, τα οποία λειτουργούν ως μονωτικά στρώματα για το επίπεδο αυτό. Ένας επιπρόσθετος λόγος που συμβάλλει στην καλή απόδοση του $1^{ου}$ ορόφου, είναι ότι στο επίπεδο αυτό της υφιστάμενης κατάστασης του κτηρίου, υπήρχε ένα ενιαίο εξωτερικό σκίαστρο το οποίο στην περίπτωση της διπλοκέλυφης κατασκευής δεν υφίσταται, συνεπώς, επιτρέπεται η είσοδος μεγαλύτερου ποσοστού ηλιακής ακτινοβολίας.

5.4.2 Σενάριο 2: Καταναλώσεις ενέργειας

Η εφαρμογή του Σεναρίου 2 οδηγούν στα ακόλουθα αποτελέσματα, ως προς τις ενεργειακές καταναλώσεις του κτηρίου.



Σχήμα 5.20: Καταναλώσεις ενέργειας για ανάγκες θέρμανσης Σεναρίου 2 σε σύγκριση με αρχικό κτήριο, για νότια πρόσοψη και συνολικό κτήριο, για χειμερινή και ετήσια χρονική περίοδο

Πίνακας 5.2: Καταναλώσεις ενέργειας για ανάγκες θέρμανσης Σεναρίου 2 σε σύγκριση με αρχικό κτήριο, για νότια πρόσοψη και συνολικό κτήριο, για χειμερινή και ετήσια χρονική περίοδο

Καταναλώσεις Θέρμανσης Σεναρίου 2 (kWh)				
	Χειμώνας		Ετήσια	
	Νότια Πρόσοψη	Συνολικό Κτήριο	Νότια Πρόσοψη	Συνολικό Κτήριο
Αρχικό Κτήριο	5480	23760	6313	26578
Σενάριο 2	3485	21788	3882	24172
Εξοικονόμηση Ενέργειας	1995	1972	2431	2406
Ποσοστό εξοικονόμησης	36%	8%	39%	9%

Πίνακας 5.3: Καταναλώσεις ενέργειας για ανάγκες ψύξης Σεναρίου 2 σε σύγκριση με αρχικό κτήριο, για νότια πρόσοψη και συνολικό κτήριο σε ετήσια χρονική περίοδο

Καταναλώσεις Ψύξης Σεναρίου 2 (kWh)		
	Ετήσια	
	Νότια Πρόσοψη	Συνολικό Κτήριο
Αρχικό Κτήριο	89843	179393
Σενάριο 2	93718	183255
Εξοικονόμηση Ενέργειας	-3875	-3862
Ποσοστό εξοικονόμησης	-4%	-2%

Όπως γίνεται αντιληπτό από τους Πίνακες 5.2 και 5.3, η εφαρμογή του προτεινόμενου σεναρίου έχει ως αποτέλεσμα ενεργειακή εξοικονόμηση των αναγκών της νότιας πρόσοψης σε θέρμανση κατά 39% ετησίως ενώ και κατά 9% των αναγκών θέρμανσης του συνολικού κτηρίου ετησίως.

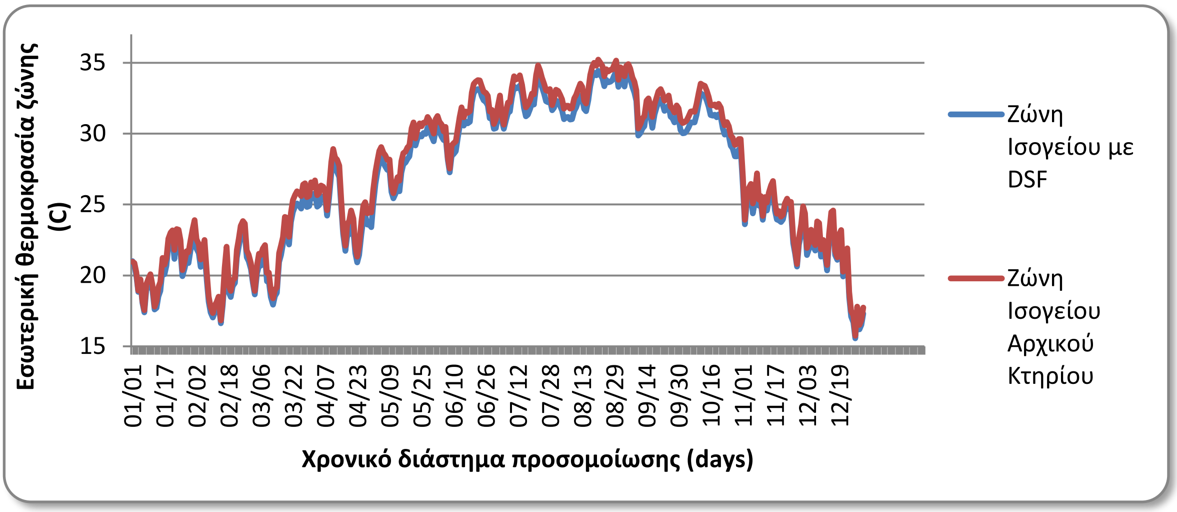
Παράλληλα οι ανάγκες για ψύξη τους καλοκαιρινούς μήνες αυξάνονται ελαφρώς με την εφαρμογή της διπλοκέλυφης κατασκευής που εξετάστηκε στο σενάριο 2. Αυτό είναι αναμενόμενο λόγω της μικρής αύξησης της θερμοκρασίας που προκαλείται κατά την καλοκαιρινή περίοδο η οποία όταν ανάγεται στο σύνολο του κτηρίου και σε ετήσια χρονική περίοδο συνεπάγεται αύξηση καταναλώσεων ψύξης κατά 2%.

5.5 Σενάριο 3: Διπλοκέλυφη πρόσοψη κτηρίου (DSF) με φυσικό αερισμό υψηλού ρυθμού

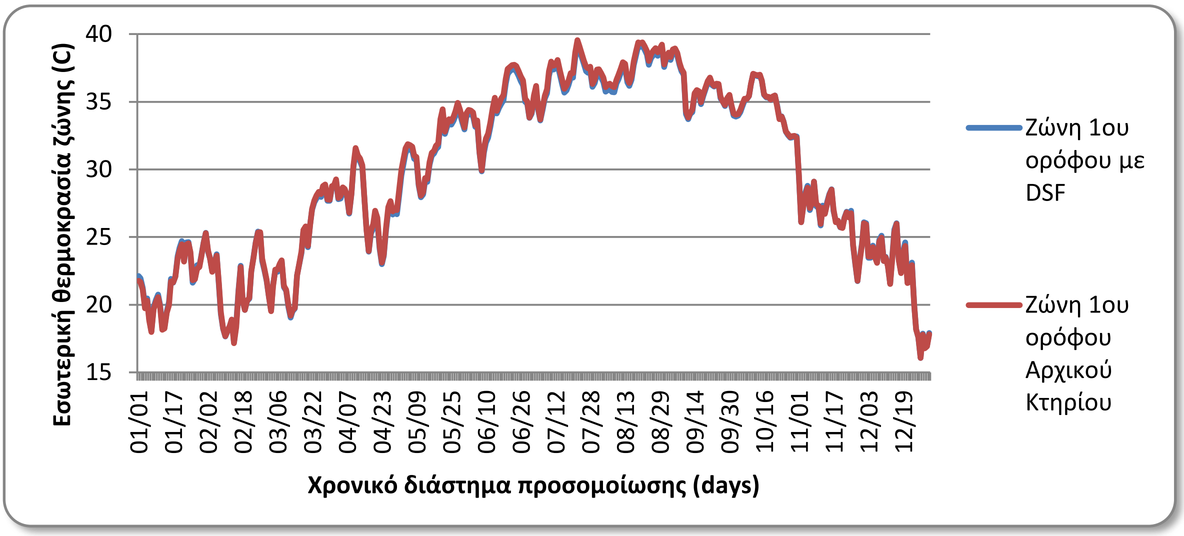
Εξετάστηκε αντίστοιχο σενάριο κατασκευής διπλού κελύφους με την διαφορά ότι η ροή του αέρα είναι τύπου εξωτερική κουρτίνα αέρα (Outdoor air curtain), δηλαδή αέρας από το εξωτερικό περιβάλλον εισάγεται στο διάκενο και εν συνεχεία εξέρχεται προς το εξωτερικό περιβάλλον. Στο συγκεκριμένο σενάριο εισέρχεται ροή αέρα 6ach στον εσωτερικό χώρο του διακένου, ολόκληρο το 24ωρο της ημέρας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, από τα ανοιχτά υαλοστάσια του εξωτερικού κελύφους της κατασκευής. Οι υπόλοιπες σχεδιαστικές παράμετροι (διαστάσεις και τύπος της διπλοκέλυφης κατασκευής) παραμένουν ίδιες με το προηγούμενο σενάριο. Παράλληλα τα εσωτερικά ανοίγματα δέχονταν αέρα ρυθμού 7lt/s ανά άτομο κατά το χρονικό διάστημα παραμονής ατόμων στις θερμικές ζώνες, ετησίως.

5.5.1 Σενάριο 3: Εσωτερικές θερμοκρασίες

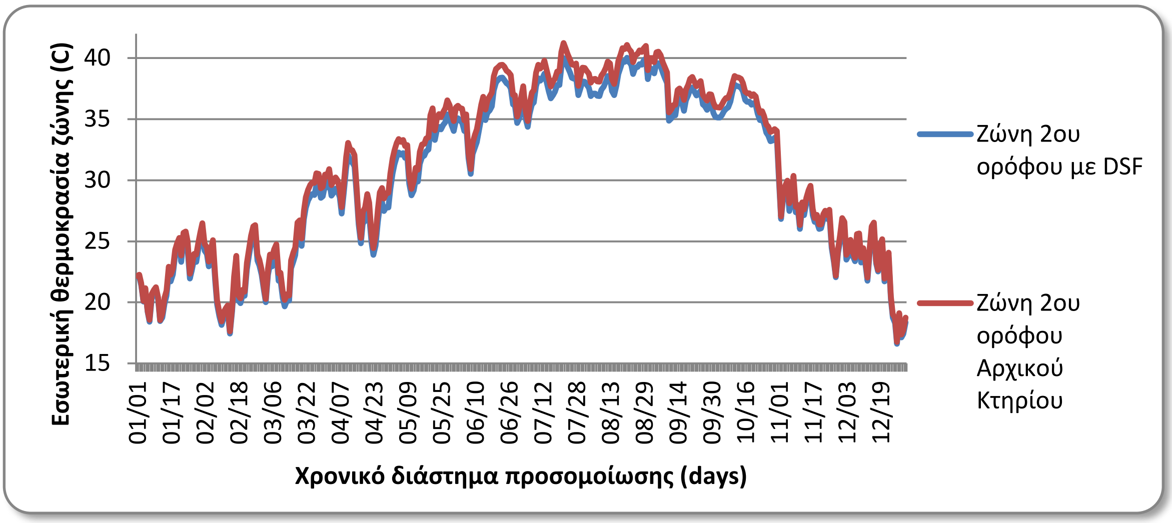
Οι εσωτερικές θερμοκρασίες του κτηρίου που προέκυψαν από την εφαρμογή του παρόντος σεναρίου, παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.21 έως 5.29 που έπονται.



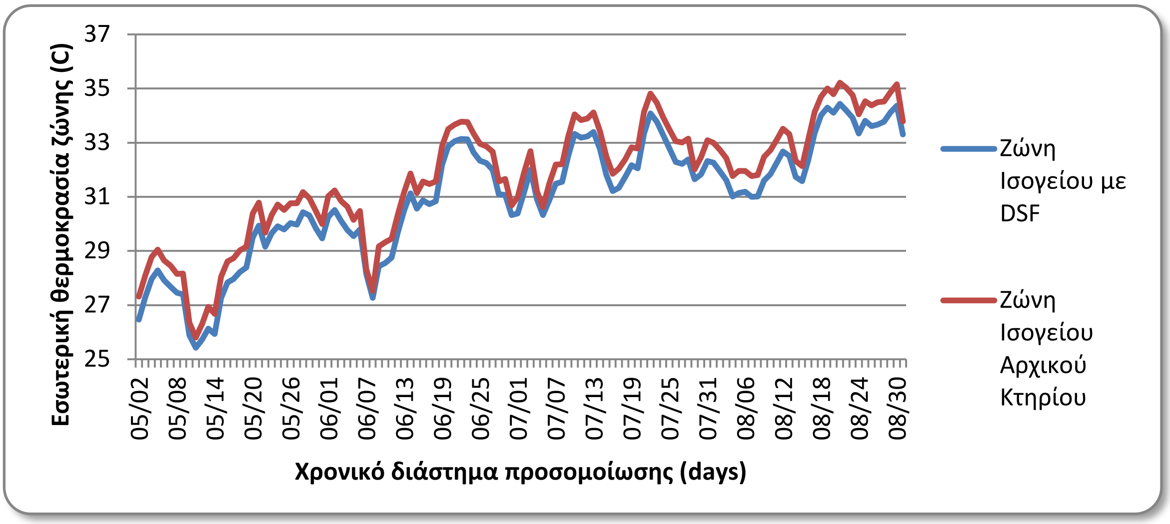
Σχήμα 5.21: Ετήσια μέση εσωτερική θερμοκρασία, ζώνη ισογείου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 3



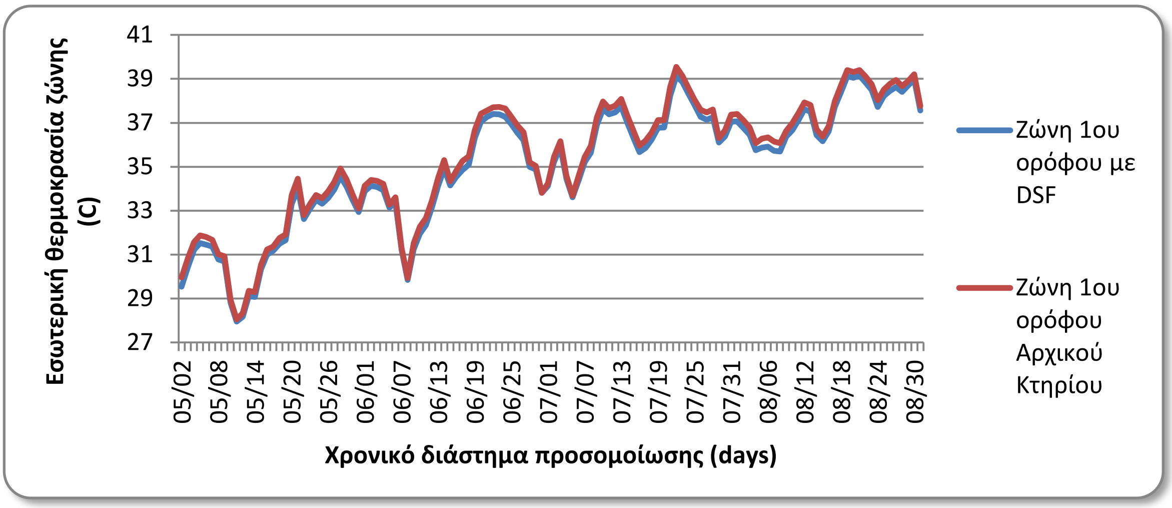
Σχήμα 5.22: Ετήσια μέση εσωτερική θερμοκρασία, ζώνη 1ου ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 3



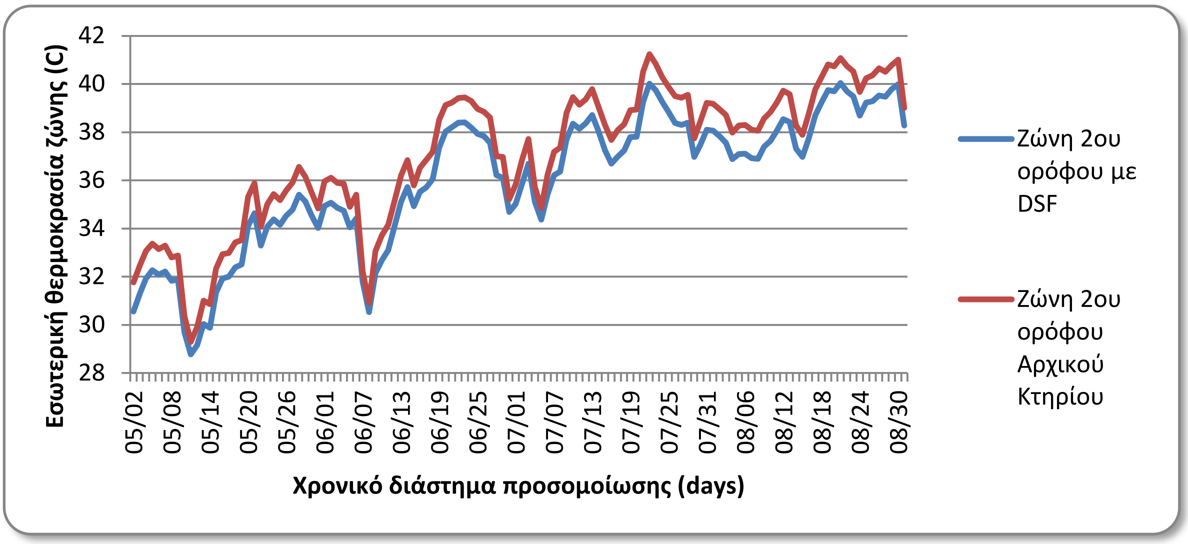
Σχήμα 5.23: Ετήσια μέση εσωτερική θερμοκρασία, ζώνη 2ου ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 3



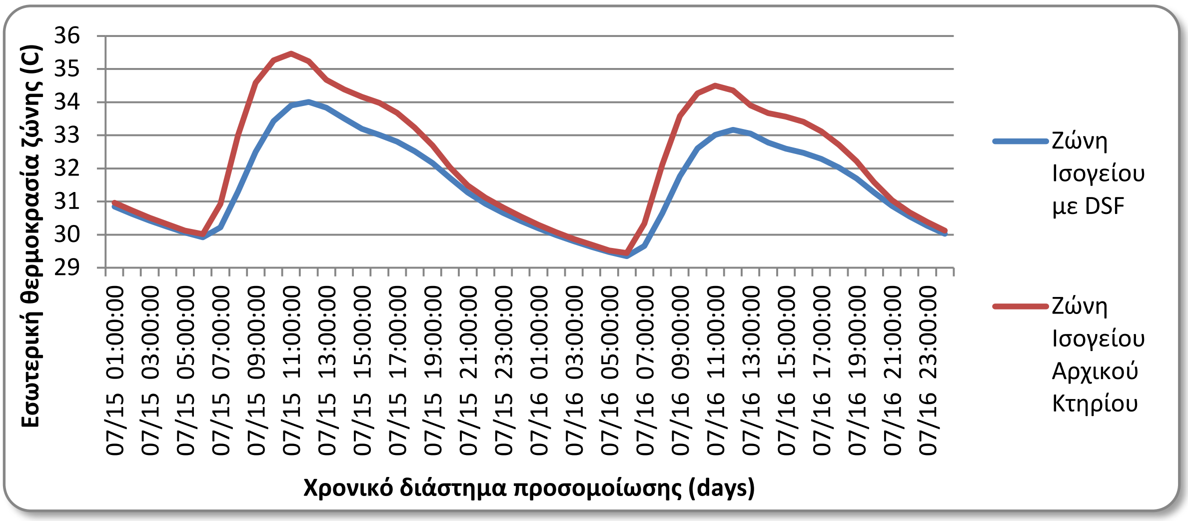
Σχήμα 5.24: Μέση εσωτερική θερμοκρασία καλοκαιρινών μηνών (Ιούνιος- Ιούλιος- Αύγουστος), ζώνη ισογείου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 3



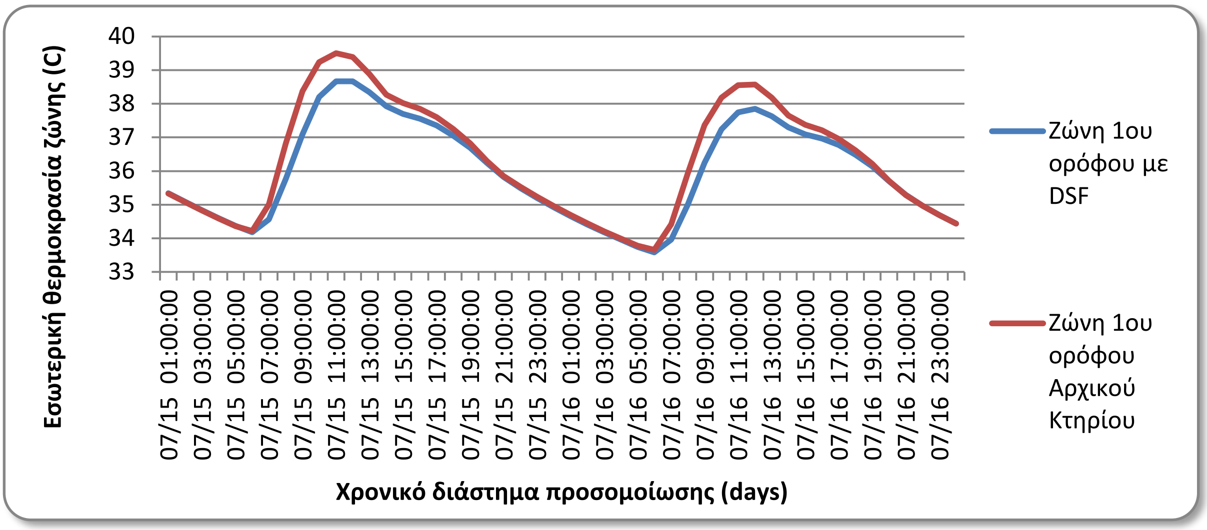
Σχήμα 5.25: Μέση εσωτερική θερμοκρασία καλοκαιρινών μηνών (Ιούνιος- Ιούλιος- Αύγουστος), ζώνη 1ου ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 3



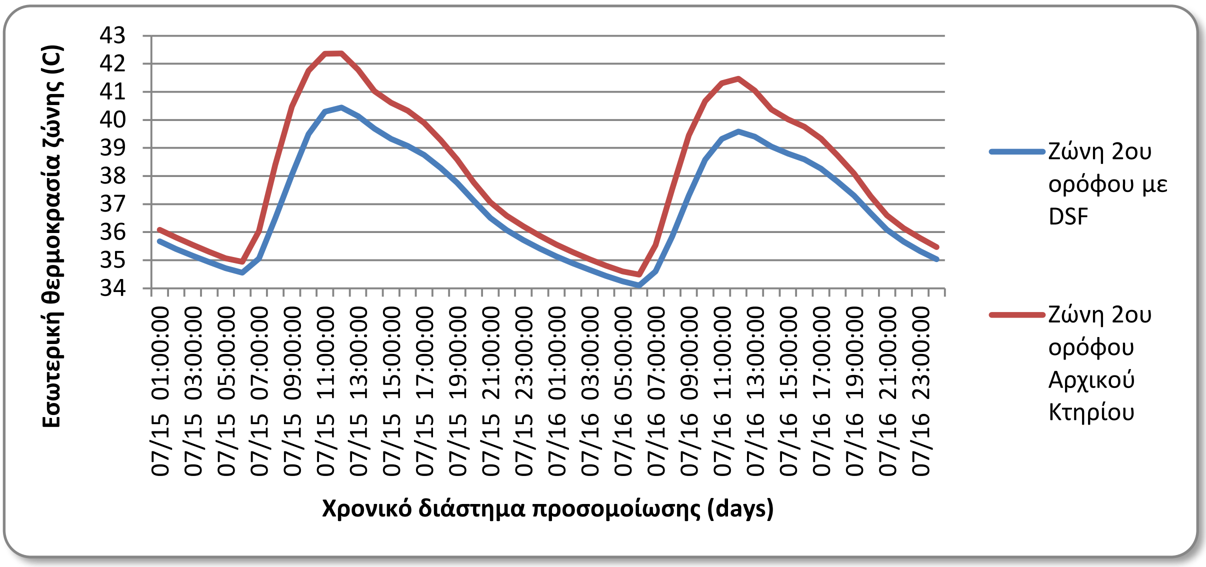
Σχήμα 5.26: Μέση εσωτερική θερμοκρασία καλοκαιρινών μηνών (Ιούνιος- Ιούλιος- Αύγουστος), ζώνη 2ου ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 3



Σχήμα 5.27: Ωριαία μέση εσωτερική θερμοκρασία κατά τη διάρκεια καλοκαιρινών ημερών (15-16 Ιουλίου), ζώνη ισογείου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 3



Σχήμα 5.28: Ωριαία μέση εσωτερική θερμοκρασία κατά τη διάρκεια καλοκαιρινών ημερών (15-16 Ιουλίου), ζώνη $1^{ου}$ ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 3



Σχήμα 5.29: Ωριαία μέση εσωτερική θερμοκρασία κατά τη διάρκεια καλοκαιρινών ημερών (15-16 Ιουλίου), ζώνη $2^{ου}$ ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 3

Από τα παραπάνω γραφήματα είναι εμφανές ότι το Σενάριο 3 και ιδίως ο συγκεκριμένος τρόπος αερισμού της διπλοκέλυφης κατασκευής ενδείκνυται για την καλοκαιρινή περίοδο του έτους προκαλώντας πτώση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό της ζώνης κατά 0.7, 0.3 και 1°C για το ισόγειο, τον 1^{o} και 2^{o} όροφο αντίστοιχα.

Παράλληλα κατά την χειμερινή περίοδο Δεκεμβρίου, Ιανουαρίου, Φεβρουαρίου προκαλείται μία μικρή πτώση εσωτερικής θερμοκρασίας κατά 0.5 και 0.4°C για το ισόγειο και τον 2^{o} όροφο αντίστοιχα ενώ στον 1^{o} όροφο δεν παρατηρείται κάποια θερμοκρασιακή μεταβολή κατά μέσο όρο με την εφαρμογή του Σεναρίου 3.

Εξάγεται λοιπόν το συμπέρασμα ότι η απόδοση της διπλοκέλυφης κατασκευής με υψηλό ρυθμό αερισμού έγκειται στην επιφάνεια των εσωτερικών υαλοστασίων και συγκεκριμένα στο ποσοστό επιφανείας υαλοστασίων ανά επιφάνεια τοίχων. Ουσιαστικά η διπλοκέλυφη κατασκευή αποτρέπει τα άμεσα ηλιακά κέρδη να εισέλθουν στο κυρίως κτήριο λόγω υψηλού αερισμού. Επομένως αποδίδει καλύτερα στα επίπεδα με μεγάλη επιφάνεια υαλοστασίων διότι έτσι αποτρέπεται μεγαλύτερο ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας το οποίο χωρίς το DSF θα εισχωρούσε στο κτήριο. Έτσι, καλύτερη συμπεριφορά παρατηρείται το καλοκαίρι στον 2^{ο} όροφο (88% ποσοστό επιφάνειας υαλοστασίων ανά επιφάνεια τοίχου), εν συνεχεία στο ισόγειο (63%) και τέλος στο επίπεδο του 1^{ου} ορόφου (59%). Ωστόσο η αντίστροφη συμπεριφορά παρατηρείται κατά την χειμερινή περίοδο.

5.5.2 Σενάριο 3: Καταναλώσεις ενέργειας

Λόγω της πτώσης των θερμοκρασιών στο εσωτερικό των ζωνών που προκλήθηκε εξαιτίας της εφαρμογής της κατασκευής διπλού κελύφους με τα χαρακτηριστικά που προτείνονται στο Σενάριο 3, εξοικονομήθηκαν οι καταναλώσεις για ψύξη στο σύνολο του κτηρίου κατά 5% ετησίως. Επιπρόσθετα, οι καταναλώσεις για ανάγκες θέρμανσης αυξήθηκαν κατά 2% στο σύνολο του κτηρίου, σε ετήσια βάση.

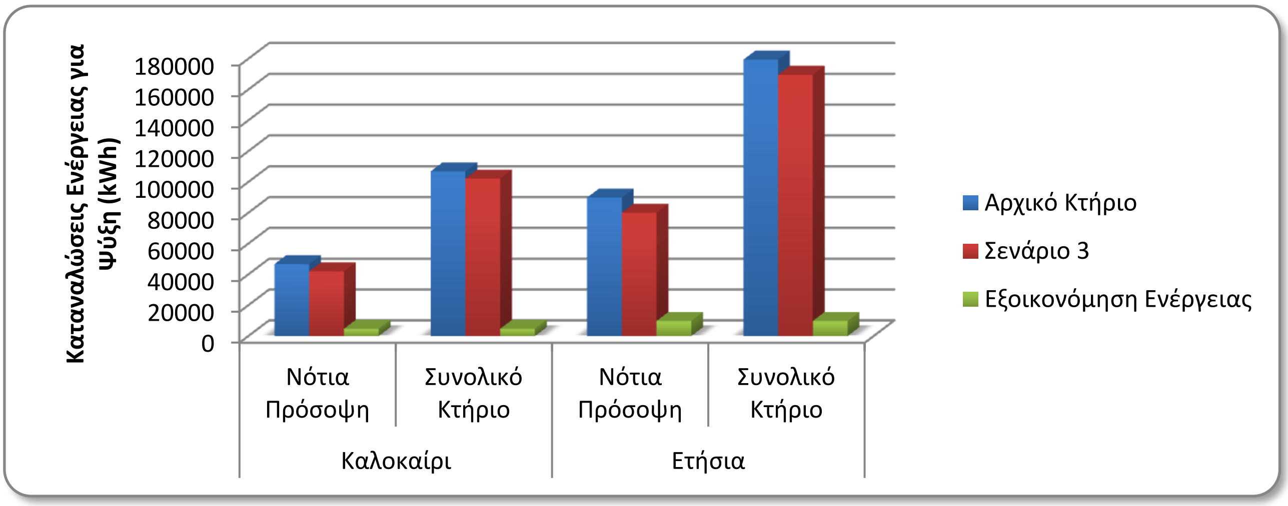
Αναλυτικά οι καταναλώσεις τόσο της νότιας πρόσοψης όσο και του συνολικού κτηρίου για καλοκαιρινή και ετήσια χρονική περίοδο παρουσιάζονται στους Πίνακες 5.4, 5.5 και Σχήμα 5.30.

Πίνακας 5.4: Καταναλώσεις ενέργειας για ανάγκες ψύξης Σεναρίου 3 σε σύγκριση με αρχικό κτήριο, για νότια πρόσοψη και συνολικό κτήριο, για καλοκαιρινή και ετήσια χρονική περίοδο

Καταναλώσεις Ψύξης Σεναρίου 3 (kWh)				
	Καλοκαίρι		Ετήσια	
	Νότια Πρόσοψη	Συνολικό Κτήριο	Νότια Πρόσοψη	Συνολικό Κτήριο
Αρχικό Κτήριο	46649	106899	89843	179393
Σενάριο 3	41971	102199	80089	169599
Εξοικονόμηση Ενέργειας	4678	4700	9754	9794
Ποσοστό εξοικονόμησης	10%	4%	11%	5%

Πίνακας 5.5: Καταναλώσεις ενέργειας για ανάγκες θέρμανσης Σεναρίου 3 σε σύγκριση με αρχικό κτήριο, για νότια πρόσοψη και συνολικό κτήριο σε ετήσια χρονική περίοδο

Καταναλώσεις Θέρμανσης Σεναρίου 3 (kWh)		
	Ετήσια	
	Νότια Πρόσοψη	Συνολικό Κτήριο
Αρχικό Κτήριο	6313	26578
Σενάριο 3	6767	27105
Εξοικονόμηση Ενέργειας	-454	-528
Ποσοστό εξοικονόμησης	-7%	-2%



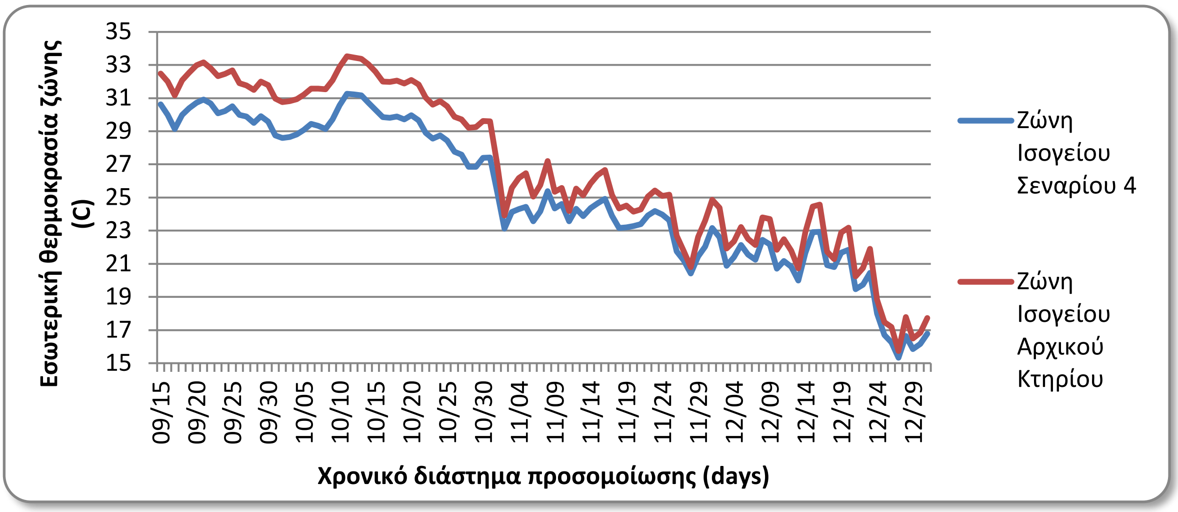
Σχήμα 5.30: Καταναλώσεις ενέργειας για ανάγκες ψύξης Σεναρίου 3 σε σύγκριση με αρχικό κτήριο, για νότια πρόσοψη και συνολικό κτήριο, για καλοκαιρινή και ετήσια περίοδο

5.6 Σενάριο 4: Διπλοκέλυφη πρόσοψη κτηρίου (DSF) με εσωτερικό σύστημα σκίασης

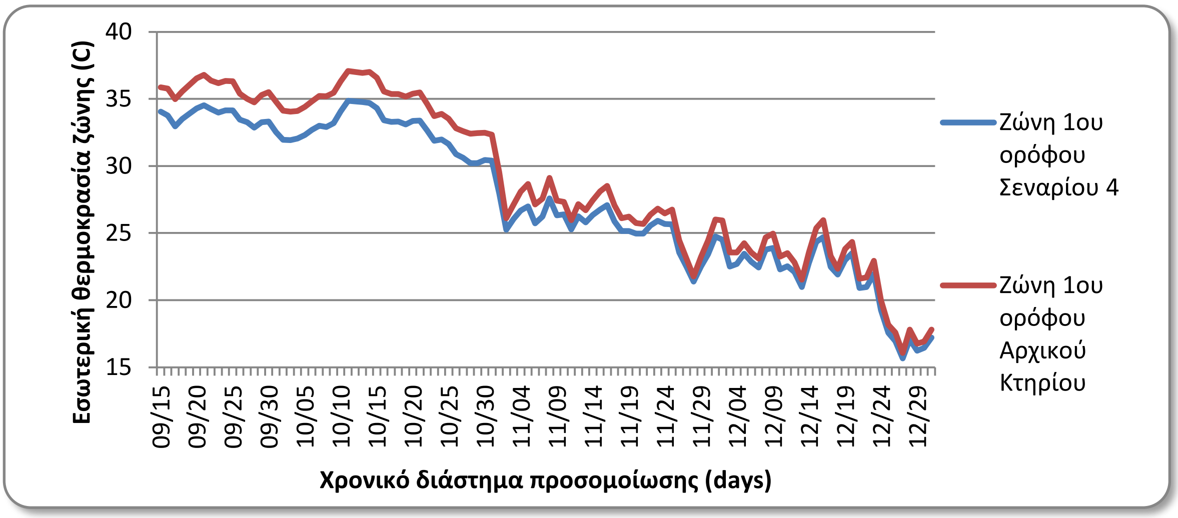
Μελετήθηκε η αποδοτικότητα της διπλοκέλυφης κατασκευής στην οποία εντάσσεται σύστημα σκίασης, εσωτερικών περσίδων. Οι περσίδες σχεδιάστηκαν ώστε να έχουν οριζόντια κλίση κατά την χειμερινή περίοδο ώστε νε επιτρέπουν την διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας στο διάκενο του DSF και κατ' επέκταση στο κυρίως κτήριο. Αντίστοιχα, κατά την θερινή περίοδο το σύστημα των περσίδων είναι υπό κλίση, σχεδόν σε κλειστή διάταξη (45° από την οριζόντια ευθεία) ώστε αφενός να εμποδίζει την διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας στο χώρο και αφετέρου να εξασφαλίζει τα απαραίτητα για εργασία επίπεδα οπτικής άνεσης χωρίς να δημιουργεί συσκότιση. Τα υπόλοιπα τεχνικά χαρακτηριστικά, όπως ο ρυθμός αερισμού και η ροή του αέρα, είναι κοινά με αυτά του 3ου σεναρίου.

5.6.1 Σενάριο 4: Εσωτερικές θερμοκρασίες

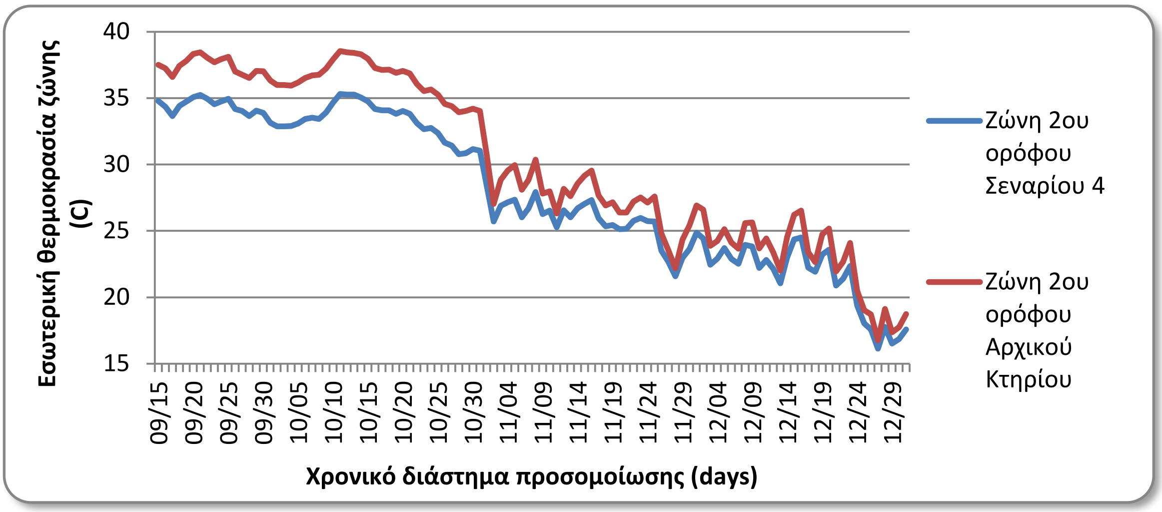
Η επίδραση της διπλοκέλυφης κατασκευής συνδυασμένη με εσωτερικό σύστημα σκίασης, παρουσιάζεται στα ακόλουθα Σχήματα.



Σχήμα 5.31: Μέση εσωτερική θερμοκρασία χειμερινών μηνών, ζώνη Ισογείου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 4

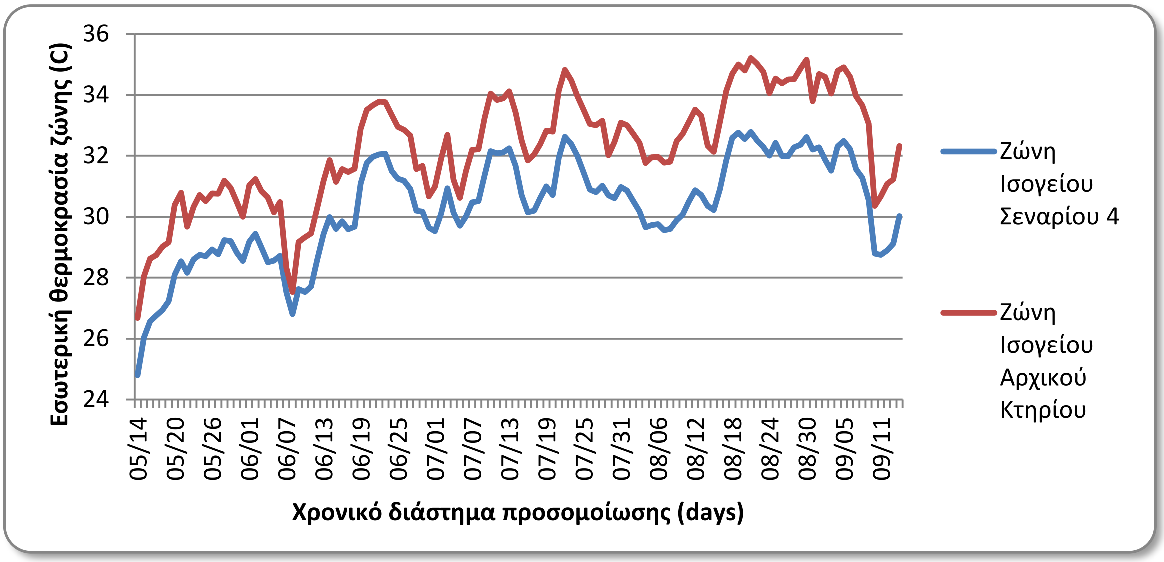


Σχήμα 5.32: Μέση εσωτερική θερμοκρασία χειμερινών μηνών, ζώνη 1ου ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 4

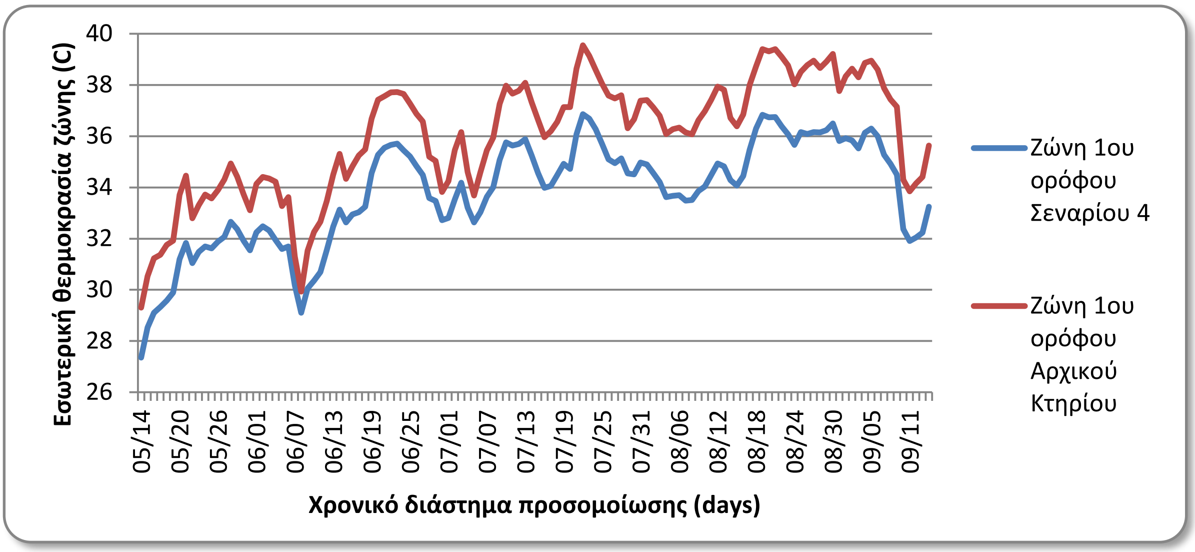


Σχήμα 5.33: Μέση εσωτερική θερμοκρασία χειμερινών μηνών, ζώνη 2^ου^ ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 4

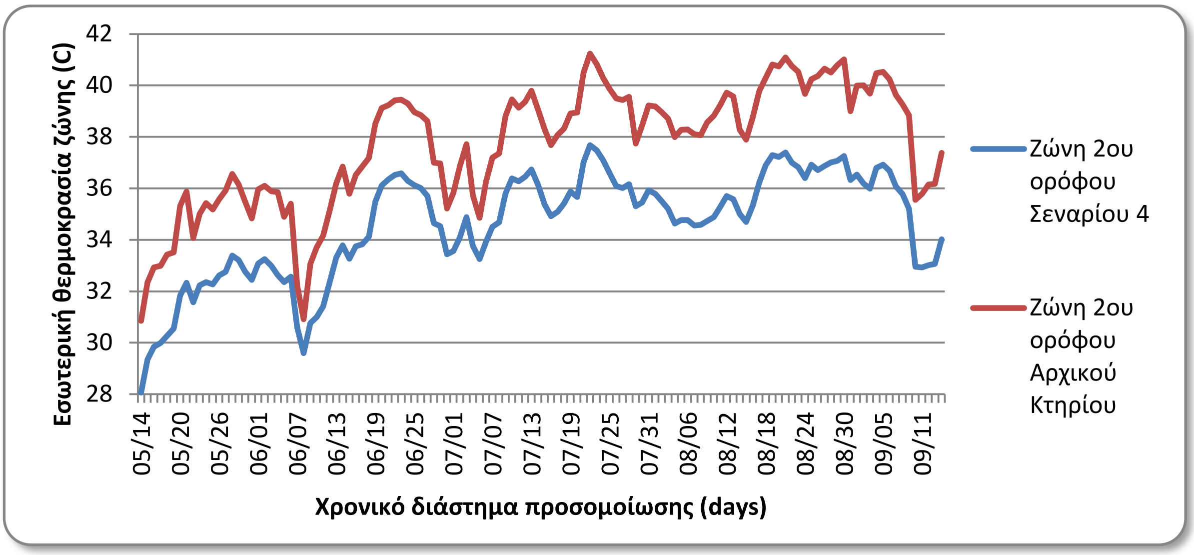
Η εσωτερική θερμοκρασία κατά την χειμερινή περίοδο (Σεπτέμβριος έως Μάιος), μειώνεται κατά 1.5, 1.3 και 2°C στις θερμικές ζώνες του ισογείου, 1^{ου} και 2^{ου} ορόφου αντίστοιχα (Σχήμα 5.31 έως 5.33). Είναι γεγονός αναμενόμενο λόγω της ύπαρξης των σκιάστρων που αποτρέπουν την διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας στο κτήριο.



Σχήμα 5.34: Μέση εσωτερική θερμοκρασία καλοκαιρινών μηνών, ζώνη Ισογείου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 4



Σχήμα 5.35: Μέση εσωτερική θερμοκρασία καλοκαιρινών μηνών, ζώνη 1ου ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 4



Σχήμα 5.36: Μέση εσωτερική θερμοκρασία καλοκαιρινών μηνών, ζώνη 2ου ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 4

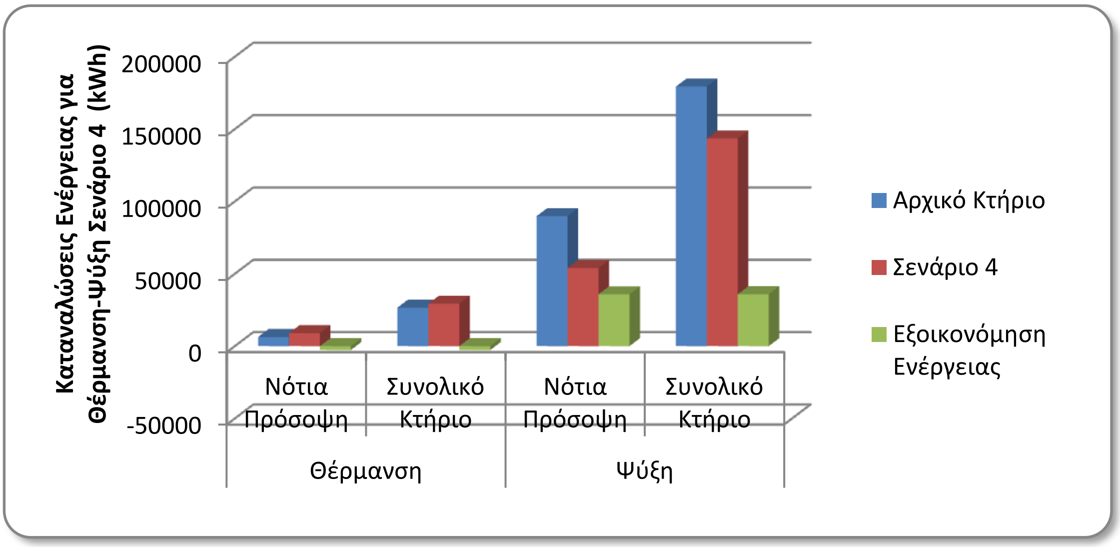
Η εσωτερική θερμοκρασία κατά την θερινή περίοδο (Μάιος έως Σεπτέμβριος), μειώνεται κατά 2, 2.2 και 3.1°C στις θερμικές ζώνες του ισογείου, 1ου και 2ου ορόφου αντίστοιχα (Σχήμα 5.34 έως 5.36). Η αισθητή μείωση των θερμοκρασιών που προκαλείται, οφείλεται στο συνδυασμό καλού αερισμού και εσωτερικών περσίδων που εκτρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία από το εσωτερικό των χώρων.

5.6.2 Σενάριο 4: Καταναλώσεις ενέργειας

Οι καταναλώσεις του κτηρίου στην εν λόγω περίπτωση, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.6 που ακολουθεί. Γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι οι καταναλώσεις ψύξης είναι αισθητά μικρότερες σε σχέση αυτές του σεναρίου 3 ενώ οι καταναλώσεις θέρμανσης είναι αρκετά αυξημένες. Αυτό συνεπάγεται ότι το εσωτερικό σύστημα σκίασης είναι αποδοτικό, επιφέροντας μειώσεις τόσο στις εσωτερικές θερμοκρασίες των ζωνών όσο και στις ενεργειακές καταναλώσεις.

Πίνακας 5.6: Καταναλώσεις ενέργειας για ανάγκες θέρμανσης-ψύξης Σεναρίου 4 σε σύγκριση με αρχικό κτήριο, για νότια πρόσοψη και συνολικό κτήριο σε ετήσια χρονική περίοδο

Καταναλώσεις Θέρμανσης - Ψύξης Σεναρίου 4 (kWh)				
	Θέρμανση		Ψύξη	
	Νότια Πρόσοψη	Συνολικό Κτήριο	Νότια Πρόσοψη	Συνολικό Κτήριο
Αρχικό Κτήριο	6313	26578	89843	179393
Σενάριο 4	8975	29313	54000	143510
Εξοικονόμηση Ενέργειας	-2662	-2735	35843	35883
Ποσοστό εξοικονόμησης	-42%	-10%	40%	20%



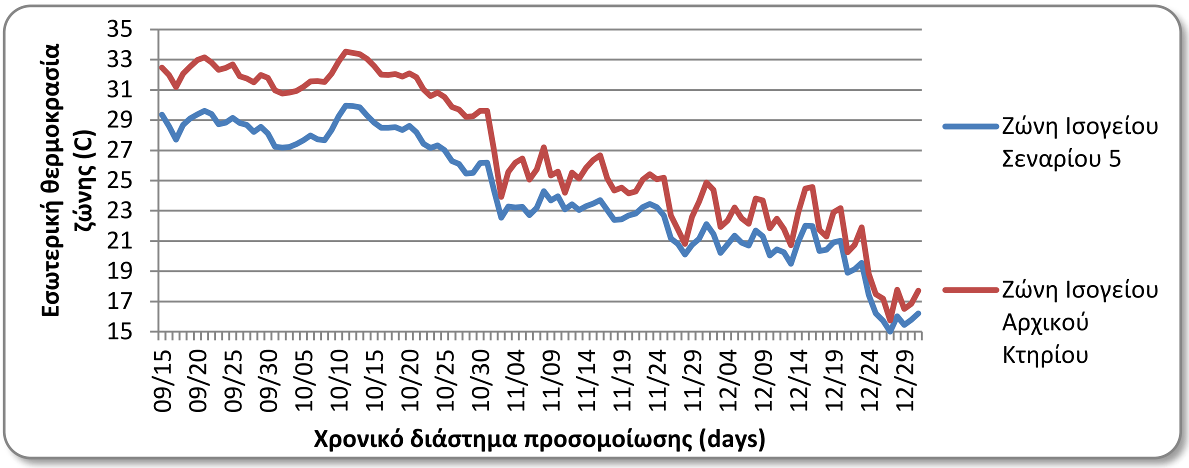
Σχήμα 5.37: Καταναλώσεις ενέργειας για ανάγκες θέρμανσης-ψύξης Σεναρίου 4 σε σύγκριση με αρχικό κτήριο, για νότια πρόσοψη και συνολικό κτήριο σε ετήσια χρονική περίοδο

5.7 Σενάριο 5: Διπλοκέλυφη πρόσοψη κτηρίου (DSF) με εξωτερικό σύστημα σκίασης

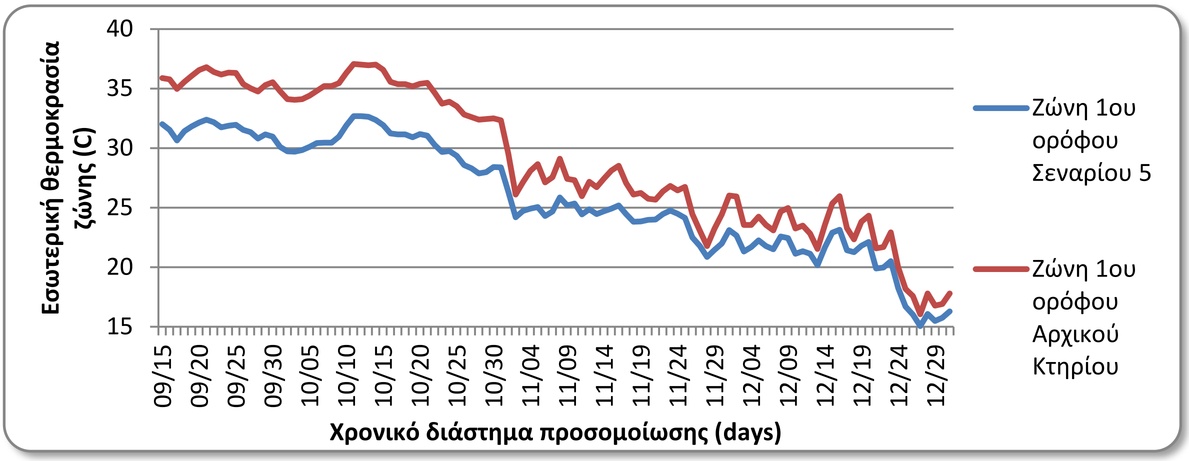
Διερευνήθηκε, επιπρόσθετα, σενάριο κατασκευής διπλού κελύφους στο Κτήριο Επιστημών το οποίο στην συγκεκριμένη περίπτωση, περιλαμβάνει εξωτερικό κινούμενο σύστημα σκίασης αντίστοιχο με αυτό του 4ου σεναρίου, δηλαδή οριζόντιας κλίσης την χειμερινή περίοδο και υπό κλίση κατά την θερινή (35°).

5.7.1 Σενάριο 5: Εσωτερικές θερμοκρασίες

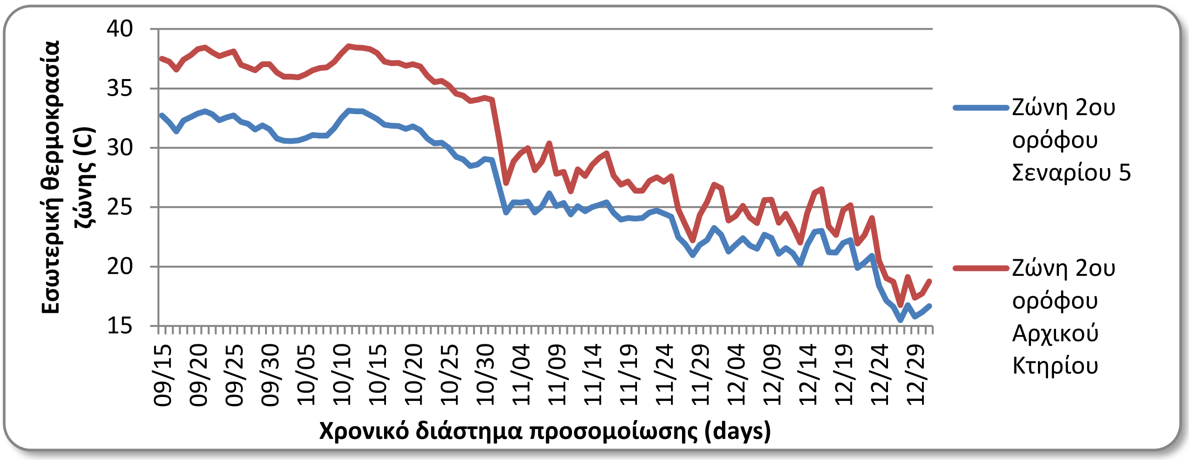
Η αποδοτικότητα του εν λόγω σεναρίου είναι αισθητά καλύτερη με αυτή των υπολοίπων εναλλακτικών λύσεων διπλοκέλυφης κατασκευής, όπως παρουσιάζεται στα γραφήματα των εσωτερικών θερμοκρασιών των ζωνών που ακολουθούν.



Σχήμα 5.38: Μέση εσωτερική θερμοκρασία χειμερινών μηνών, ζώνη Ισογείου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 5

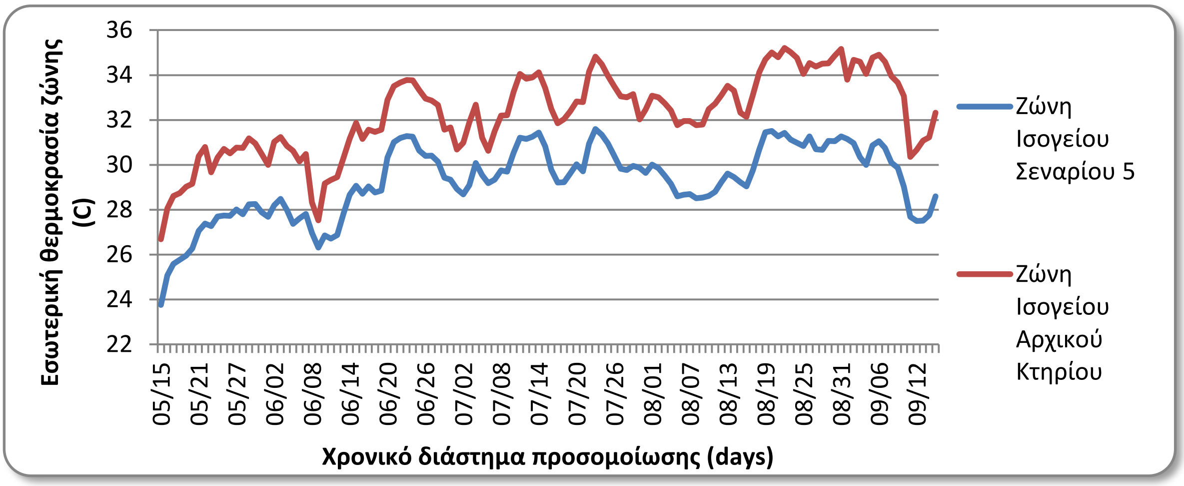


Σχήμα 5.39: Μέση εσωτερική θερμοκρασία χειμερινών μηνών, ζώνη 1ου ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 5

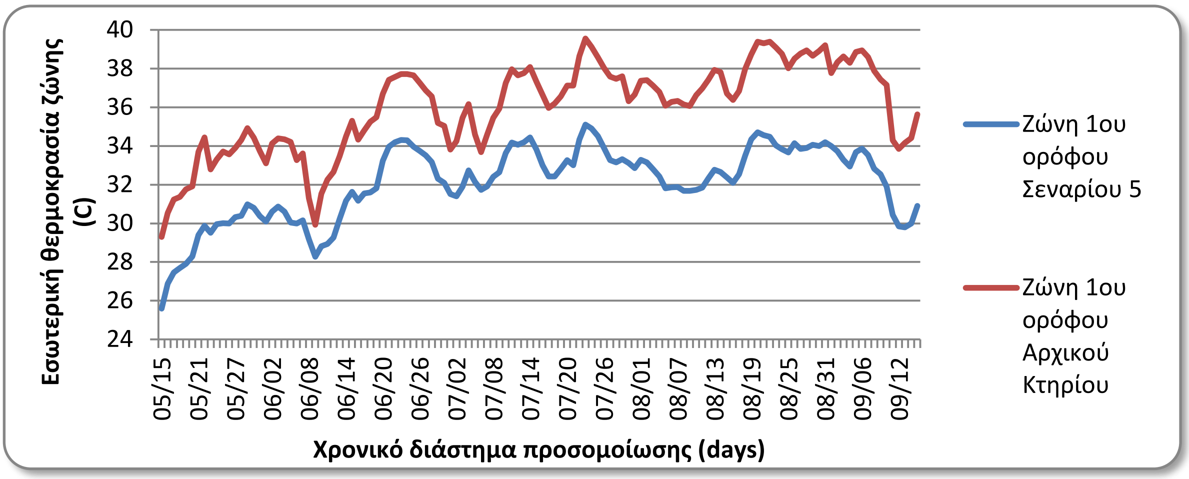


Σχήμα 5.40: Μέση εσωτερική θερμοκρασία χειμερινών μηνών, ζώνη 2ου ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 5

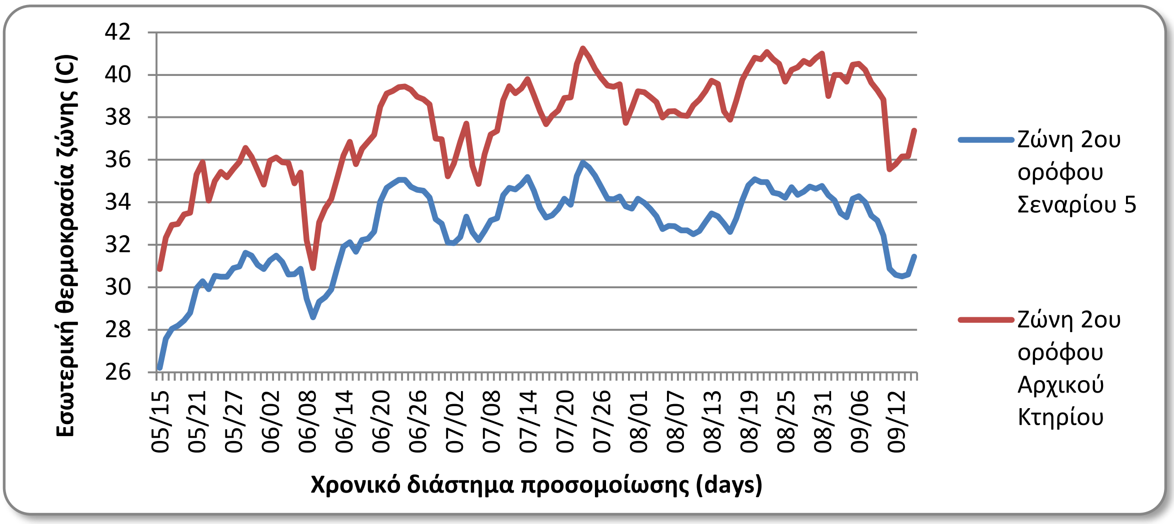
Η εσωτερική θερμοκρασία κατά την χειμερινή περίοδο (Σεπτέμβριος έως Μάιος), μειώνεται κατά 2.5, 2.8 και 3.6°C στις θερμικές ζώνες του ισογείου, 1ου και 2ου ορόφου αντίστοιχα (Σχήμα 5.38 έως 5.40). Είναι γεγονός αναμενόμενο λόγω της ύπαρξης των εξωτερικών σκιάστρων που αποτρέπουν αποτελεσματικά την διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας στο κτήριο. Επιπλέον, λόγω της μεγαλύτερης αποδοτικότητας των εξωτερικών σκιάστρων έναντι των εσωτερικών, η θερμοκρασιακή πτώση είναι, και κατά τους χειμερινούς μήνες, μεγαλύτερη.



Σχήμα 5.41: Μέση εσωτερική θερμοκρασία καλοκαιρινών μηνών, ζώνη Ισογείου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 5



Σχήμα 5.42: Μέση εσωτερική θερμοκρασία καλοκαιρινών μηνών, ζώνη 1^{ου} ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 5



Σχήμα 5.43: Μέση εσωτερική θερμοκρασία καλοκαιρινών μηνών, ζώνη 2^{ου} ορόφου, νότιος προσανατολισμός, Σενάριο 5

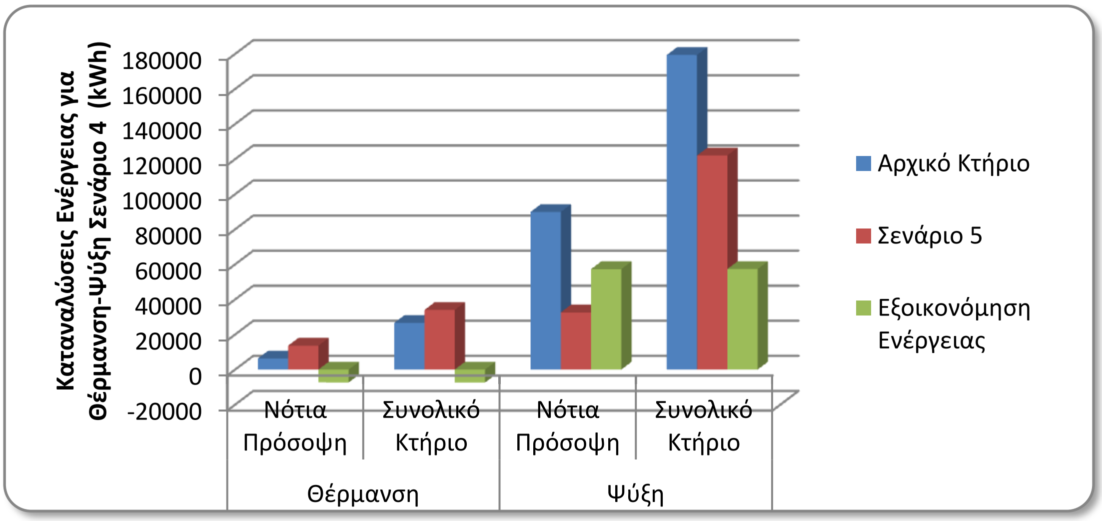
Η εσωτερική θερμοκρασία κατά την θερινή περίοδο (Μάιος έως Σεπτέμβριος), μειώνεται κατά 3, 3.9 και 5°C στις θερμικές ζώνες του ισογείου, 1^{ου} και 2^{ου} ορόφου αντίστοιχα (Σχήμα 5.41 έως 5.43). Η ραγδαία αυτή μείωση των θερμοκρασιών οφείλεται στον συνδυασμό καλού αερισμού και ύπαρξης εξωτερικών σκιάστρων που συμβάλλουν καταλυτικά στην αποτροπή της διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας στο κτήριο. Αντίστοιχα με προηγούμενα, η πτώση στη θερμοκρασία των ζωνών είναι κατά πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με το εσωτερικό σύστημα σκίασης, σχεδόν σε διπλάσιο βαθμό .

5.7.2 Σενάριο 5: Καταναλώσεις ενέργειας

Οι θερμοκρασιακές μειώσεις που προηγήθηκαν κατά την εφαρμογή του συγκεκριμένου σεναρίου συνεπάγονται σημαντικές μεταβολές στις ενεργειακές ανάγκες του κτηρίου, οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.7 και στο Σχήμα 5.44 που ακολουθούν.

Πίνακας 5.7: Καταναλώσεις ενέργειας για ανάγκες θέρμανσης-ψύξης Σεναρίου 5 σε σύγκριση με αρχικό κτήριο, για νότια πρόσοψη και συνολικό κτήριο σε ετήσια χρονική περίοδο

Καταναλώσεις Θέρμανσης - Ψύξης Σεναρίου 5 (kWh)				
	Θέρμανση		Ψύξη	
	Νότια Πρόσοψη	Συνολικό Κτήριο	Νότια Πρόσοψη	Συνολικό Κτήριο
Αρχικό Κτήριο	6313	26578	89843	179393
Σενάριο 5	13639	33978	32571	122081
Εξοικονόμηση Ενέργειας	-7326	-7400	57272	57312
Ποσοστό εξοικονόμησης	-116%	-28%	64%	32%



Σχήμα 5. 44: Καταναλώσεις ενέργειας για ανάγκες θέρμανσης-ψύξης Σεναρίου 5 σε σύγκριση με αρχικό κτήριο, για νότια πρόσοψη και συνολικό κτήριο σε ετήσια χρονική περίοδο

Οι ενεργειακές καταναλώσεις για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης αυξήθηκαν ραγδαία τόσο στα επίπεδα της Νότιας πρόσοψης του κτηρίου (116%) όσο και στο σύνολό του (28%). Ωστόσο, οι καταναλώσεις του κτηρίου για ψύξη μειώθηκαν αισθητά, 64% σε ανάγκες της Νότιας πρόσοψης στην οποία εφαρμόζεται η κατασκευή αλλά και στο σύνολο του κτηρίου, η εν λόγω κατασκευή επιφέρει μειώσεις της τάξεως του 32%. Διασταυρώνεται, ως εκ τούτου αντιληπτό ότι, το εξωτερικό σύστημα σκίασης είναι σημαντικά αποδοτικότερο σε σχέση με το εσωτερικό, εξασφαλίζοντας καλύτερα επίπεδα θερμικής άνεσης στο χώρο καθώς και σημαντική ενεργειακή εξοικονόμηση στον κτηριακό τομέα.

5.8 Ενεργειακή αξιολόγηση των εναλλακτικών σεναρίων - Εκτίμηση εκπομπών CO_2 που μειώνονται

Με βάση το καύσιμο που χρησιμοποιείται για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης - ψύξης στο εκάστοτε σενάριο, εκτιμάται αφενός η ενεργειακή εξοικονόμηση αφετέρου η μείωση των εκπομπών καυσαερίων CO_2 που επιτυγχάνεται ανά σενάριο. Οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.8 που ακολουθεί.

Όπως παρουσιάζεται στον εν λόγω Πίνακα, το πιο αποδοτικό ενεργειακά και ταυτόχρονα περιβαλλοντικά σενάριο, είναι αυτό της διπλοκέλυφης πρόσοψης η οποία διαθέτει εξωτερικό κινούμενο σύστημα σκίασης, μειώνοντας κατά 53tn τις εκπομπές CO_2 και εξοικονομώντας 24% ενέργεια συνολικά, για την κάλυψη των αναγκών τπυ κτηρίου.

Κατά σειρά αποδοτικότητας, ακολουθεί το σενάριο της διπλοκέλυφης πρόσοψης με εσωτερικό σύστημα σκίασης, με 35tn μείωση εκπομπών του θερμοκηπίου και 16% εξοικονόμηση ενεργειακών καταναλώσεων.

Εν συνεχεία, το σενάριο των εξωτερικών σκιάστρων αποδεικνύεται αποδοτικότερο σε σχέση με αυτό της διπλοκέλυφης κατασκευής που δεν περιλαμβάνει σύστημα σκίασης. Συγκεκριμένα, είναι υπεύθυνο για την μείωση 27tn εκπομπών CO_2 ετησίως και την ενεργειακή εξοικονόμηση 14% του κτηρίου.

Στην παρούσα ιεράρχηση ακολουθεί το σενάριο διπλοκέλυφης κατασκευής με υψηλό ρυθμό αερισμού, επιφέροντας μείωση 10tn εκπομπών CO_2 ετησίως και 4.5% εξοικονόμησης ενέργειας στο σύνολο του κτηρίου.

Τελευταία κατατάσσεται η διπλοκέλυφη κατασκευή με χαμηλό ρυθμό αερισμού εφόσον αποδεικνύεται περιβαλλοντικά μη φιλική, διότι μειώνει μεν τις καταναλώσεις θέρμανσης παράλληλα όμως, αυξάνει τις καταναλώσεις ψύξης αισθητά, ώστε συνολικά να αυξάνονται κατά 1.5tn οι εκπομπές CO_2 αντί να μειώνονται και να μην επιτυγχάνεται ενεργειακή εξοικονόμηση, παρά επιπλέον ζήτηση ενέργειας κατά 1%.

Πίνακας 5.8: Ενεργειακή και περιβαλλοντική αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων

		Υφιστάμενη Κατάσταση Κτηρίου			Μετά την προτεινόμενη αναβάθμιση			Εξοικονόμηση ενέργειας		Μείωση εκπομπών CO_2	
		Ετήσια κατανάλωση (kWh)	**Καύσιμο**	**Εκπομπές CO_2 (tn)**	**Ετήσια κατανάλωση (kWh)**	**Καύσιμο**	**Εκπομπές CO_2 (tn)**	**kWh**	**%**	**(tn)**	**%**
Σενάριο 1	Θέρμανση	27330	ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	29	33285	ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	35.4	-5955	-22	-6.3	-22
	Ψύξη	160361.5	ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	170.4	128741	ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	136.8	31620.5	19.7	33.6	19.7
	ΣΥΝΟΛΟ ΤΕΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	187691.5		199.4	162026		172.2	25665.5	13.7	**27**	
	ΣΥΝΟΛΟ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ		**544305.4**			**469875.4**		**74430**	**14**		
Σενάριο 2	Θέρμανση	26578	ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	28.2	24172	ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	25.7	2406	9.1	2.6	9.1
	Ψύξη	179393	ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	190.6	183255	ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	194.7	-3862	-2.2	-4.1	-2.2
	ΣΥΝΟΛΟ ΤΕΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	205971		218.8	207427		220.4	-1456	-0.7	**-1.5**	
	ΣΥΝΟΛΟ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ		**597315.9**			**601538.3**		**-4222.4**	**-0.7**		
Σενάριο 3	Θέρμανση	26578	ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	28.2	27105	ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	28.8	-527	-2	-0.6	-2
	Ψύξη	179393	ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	190.6	169599	ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	180.2	9794	5.5	10.4	5.5
	ΣΥΝΟΛΟ ΤΕΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	205971		218.8	196704		209	9267	**4.5**	**9.8**	
	ΣΥΝΟΛΟ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ		**597315.9**			**570441.6**		**26874.3**	**4.5**		

Σενάριο 4	Θέρμανση	26578	ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	28.2	29313	ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	31.1	-2735	-10	-2.9	-10
	Ψύξη	179393	ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	190.6	143510	ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	152.5	35883	20	38.1	20
	ΣΥΝΟΛΟ ΤΕΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	205971		218.8	172823		183.6	33148	**16**	35.2	
	ΣΥΝΟΛΟ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ		**597315.9**			**501186.7**		**96129.2**	**16**		
Σενάριο 5	Θέρμανση	26578	ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	28.2	33978	ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	36.1	-7400	-28	-7.9	-28
	Ψύξη	179393	ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	190.6	122081	ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	129.7	57312	31.9	60.9	31.9
	ΣΥΝΟΛΟ ΤΕΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	205971		218.8	156059		165.8	49912	**24**	**53**	
	ΣΥΝΟΛΟ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ		**597315.9**			**452571.1**		**144745**	**24**		

Κεφάλαιο 6 : Συμπεράσματα

6.1 Συμπεράσματα

Η εξοικονόμηση και ορθολογική χρήση ενέργειας στον κτηριακό τομέα αποτελεί στις μέρες μας επιτακτική ανάγκη. Στο πλαίσιο αυτό, στην παρούσα διατριβή διερευνήθηκαν τεχνικές ενεργειακής βελτίωσης που ενδείκνυνται σε κτήρια θερμού κλίματος, όπως αυτό της Νότιας Ευρώπης.

Πραγματοποιήθηκε μελέτη του Κτηρίου Επιστημών του Πολυτεχνείου Κρήτης, Νομού Χανίων με σκοπό διπλό˙ την ενεργειακή αξιολόγηση του κτηρίου μέσω της οποίας απορρέει ένα σύνολο εναλλακτικών επεμβάσεων με στόχο την ενεργειακή βελτίωση της συμπεριφοράς του. Πρόκειται για ένα κτήριο τριτογενούς τομέα, με ιδιαίτερα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά, το οποίο διαθέτει ως επί τω πλείστον, γραφειακούς χώρους.

Κατόπιν ενεργειακής επιθεώρησης που διενεργήθηκε στο εν λόγω κτήριο, εξήχθη το συμπέρασμα ότι πρόκειται για κτήριο με θερμομονωτική επάρκεια κτηριακού κελύφους και εξοπλισμό θέρμανσης - ψύξης με ικανοποιητικά ηλεκτρομηχανολογικά χαρακτηριστικά.

Από την προσομοίωση της ανατολικής πτέρυγας του κτηρίου, προέκυψε ότι καταναλώνονται 27330kWh/έτος για κάλυψη αναγκών θέρμανσης και 160362kWh/έτος για κάλυψη αναγκών ψύξης. Το ενεργειακό προφίλ του κτηρίου υπέδειξε υψηλές ανάγκες ψύξης της τάξεως του 55% του συνόλου των ενεργειακών καταναλώσεων, 23% για τις ανάγκες φωτισμού του κτηρίου, εν συνεχεία 17% για ανάγκες θέρμανσης, 5% για ανάγκες ηλεκτρονικού εξοπλισμού και ένα σχεδόν μηδενικό ποσοστό για τις υπόλοιπες μικροσυσκευές. Το ενεργειακό προφίλ του κτηρίου που εξήχθη είναι αφενός λογικό διότι το κτήριο ανήκει στην Κλιματική Ζώνη Α' της Ελλάδας, ωστόσο συνιστά κατά ένα μεγάλο μέρος σπατάλη.

Τα σενάρια ενεργειακής βελτίωσης του κτηρίου που εξετάστηκαν είχαν τα παρακάτω αποτελέσματα. Το πρώτο σενάριο αφορά στην πλήρη εφαρμογή εξωτερικών σταθερών σκιάστρων στα υαλοστάσια της νότιας πρόσοψης, μέσω του οποίου οι καταναλώσεις ψύξης μειώθηκαν συνολικά κατά 20% οπότε η συνολική πρωτογενής ενέργεια που εξοικονομείται είναι 14%. Τα επίπεδα θερμικής άνεσης βελτιώθηκαν σημαντικά, καθώς παρατηρήθηκε πτώση της μέσης εσωτερικής θερμοκρασίας ζώνης κατά την καλοκαιρινή περίοδο, έως και 6.2°C, ενώ παράλληλα μία μικρή πτώση παρατηρήθηκε και κατά την χειμερινή περίοδο.

Η αποτελεσματικότητα των σκιάστρων είναι άμεση συνάρτηση της επιφάνειας των υαλοστασίων που σκιάζονται και συνεπώς μειώνουν τα ηλιακά κέρδη του κτηρίου ανά όροφο. Επομένως, κρίνεται ότι η απόδοση του σεναρίου των σταθερών εξωτερικών σκιάστρων είναι αρκετά ικανοποιητική, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις μεγάλες επιφάνειες υαλοστασίων που διαθέτει το μελετούμενο κτήριο, όσο και τις μεγάλες ενεργειακές ανάγκες για ψύξη που παρουσιάζει ένα κτήριο με τα κλιματικά χαρακτηριστικά της Κρήτης.

Εξετάστηκε ακόμα μία καινοτόμος για τα Ελληνικά δεδομένα κατασκευή, αυτή της διπλοκέλυφης πρόσοψης, η οποία αποτελείται από εσωτερικά και εξωτερικά διπλά υαλοστάσια, δημιουργώντας διάκενο 1m στον 1^{ο} και 2^{ο} όροφο ενώ 1.825m στο ισόγειο.

Στο 2^{ο} εναλλακτικό σενάριο, ο χαμηλός ρυθμός αερισμού στην διπλοκέλυφη κατασκευή, είχε ως αποτέλεσμα να παρουσιάσει υψηλή απόδοση κατά την χειμερινή περίοδο, προκαλώντας θερμοκρασιακή αύξηση εντός των ζωνών, έως και 1.1°C προκαλώντας παράλληλα και μία μικρή θερμοκρασιακή αύξηση στο επίπεδο του 1^{ου} ορόφου. Η ενεργειακή εξοικονόμηση που επιτεύχθηκε στις ανάγκες της νότιας πρόσοψης σε θέρμανση ήταν 39% ετησίως και 9% στο σύνολο του κτηρίου ετησίως. Ωστόσο, οι ανάγκες για ψύξη στους καλοκαιρινούς μήνες αυξήθηκαν ελαφρώς, προκαλώντας αύξηση καταναλώσεων ψύξης κατά 2%, γεγονός που οδηγεί σε περαιτέρω αύξηση αντί για μείωση της πρωτογενούς ενέργειας κατά 1%.

Η επιτυχία του σεναρίου έγκειται στο ότι η διπλοκέλυφη κατασκευή λειτουργεί σαν ένα είδος θερμοκηπίου του οποίου τα εξωτερικά ανοίγματα δεν ενεργοποιούνται κατά τη χειμερινή περίοδο. Έτσι, δεν εισέρχεται παγωμένος περιβαλλοντικός αέρας αλλά ο ζεστός αέρας της θερμικής ζώνης ανακυκλώνεται και εν συνεχεία εισέρχεται με αγωγή προς το εσωτερικό του κτηρίου.

Βέλτιστη απόδοση κατά την καλοκαιρινή περίοδο, παρατηρήθηκε σε διπλοκέλυφη κατασκευή με παροχή εξωτερικού περιβαλλοντικού αέρα στο διάκενο του DSF με υψηλό ρυθμό. Κατά τη θερινή περίοδο παρατηρήθηκε θερμοκρασιακή πτώση 0.7, 0.3 και 1°C στις θερμικές ζώνες του ισογείου, 1^{ου} και 2^{ου} όροφο αντίστοιχα, ενώ μία μικρότερης τάξης πτώση θερμοκρασίας παρατηρήθηκε και κατά την χειμερινή περίοδο. Κατόπιν αυτού, εξοικονόμηση καταναλώσεων ψύξης κατά 11%, παρατηρήθηκε στους χώρους της νότιας πρόσοψης και 5% στις συνολικές ανάγκες του κτηρίου ετησίως. Έτσι, η μείωση της πρωτογενούς ενέργειας που απαιτεί για το παρόν σενάριο, είναι 4.5%.

Η διπλοκέλυφη κατασκευή αποδείχτηκε ότι λειτουργεί ως προστατευτικό στρώμα, καθώς αποτρέπει τα άμεσα ηλιακά κέρδη να εισέλθουν στο κυρίως κτήριο λόγω υψηλού ρυθμού αερισμού. Επομένως, αποδίδει καλύτερα στα επίπεδα με μεγάλη επιφάνεια εσωτερικών υαλοστασίων διότι έτσι αποτρέπεται μεγαλύτερο ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας, το οποίο χωρίς το DSF θα εισχωρούσε στο κτήριο. Για το λόγο αυτό, καλύτερη συμπεριφορά παρατηρείται το καλοκαίρι στον 2^{ο} όροφο (όπου υπάρχει 88% ποσοστό επιφάνειας υαλοστασίων ανά επιφάνεια τοίχου), εν συνεχεία στο ισόγειο (63%) και τέλος στο επίπεδο του 1^{ου} ορόφου (59%).

Διερευνήθηκε ακόμα, η αποδοτικότητα διπλοκέλυφης κατασκευής στην οποία εντάσσεται εσωτερικό κινούμενο σύστημα σκίασης με παροχή υψηλού ρυθμού αερισμού, δίνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα τόσο σε επίπεδα θερμικής άνεσης (πτώση θερμοκρασίας από 2 έως και 3.1°C κατά τους θερινούς μήνες) όσο και επίπεδα καταναλώσεων (40% ενεργειακή εξοικονόμηση σε κάλυψη αναγκών νότιας πρόσοψης και 16% συνολικής πρωτογενούς ενέργειας). Αποδείχθηκε κατόπιν αυτού, ότι το εσωτερικό σύστημα σκίασης παρέχει έναν καλό συνδυασμό χαρακτηριστικών διπλοκέλυφης κατασκευής επιφέροντας σημαντικές μειώσεις θερμοκρασιών, λόγω του ότι εκτρέπει την ακτινοβολία που έχει εισέλθει στο χώρο.

Η αποδοτικότητα της διπλοκέλυφης κατασκευής αυξήθηκε αισθητά στην περίπτωση ένταξης σε αυτή, εξωτερικού κινούμενου συστήματος σκίασης καθώς επιφέρει σημαντικές θερμοκρασιακές μειώσεις, εύρους 3 έως 5°C, κατά την θερινή περίοδο, χωρίς ωστόσο να παραλείπεται η πτώση της θερμοκρασίας και κατά την χειμερινή περίοδο. Αξιολογώντας την αποδοτικότητα του σεναρίου με γνώμονα τις ενεργειακές καταναλώσεις που επιφέρει, παρατηρήθηκε ότι εξοικονομείται ενέργεια για ψύξη κατά 64% στου χώρους του νότιου προσανατολισμού, αυξάνεται για θέρμανση κατά 28% στο σύνολο του κτηρίου, οδηγώντας σε 24% μείωση της πρωτογενούς ενέργειας που απαιτείται. Λόγω του ότι το εξωτερικό σύστημα σκίασης δρα στην ακτινοβολία προτού εισέλθει στο εσωτερικό του κτηρίου, καθιστά το εν λόγω σενάριο, το πιο αποδοτικό σενάριο διπλοκέλυφης πρόσοψης.

Εξετάζοντας την περιβαλλοντική βιωσιμότητα των προτεινόμενων σεναρίων αποδείχθηκε ότι το περιβαλλοντικά αποδοτικότερο είναι αυτό των της διπλοκέλυφης κατασκευής με εξωτερικό σύστημα σκίασης καθώς μειώνει κατά 53tn τις εκπομπές CO_2, και εν συνεχεία η κατασκευή που περιλαμβάνει το εσωτερικό σύστημα σκίασης (μείωση 35tn εκπομπών CO_2 ετησίως). Κατά σειρά αποδοτικότητας ακολουθεί το σενάριο εξωτερικών σκιάστρων, το οποίο μειώνει κατά 27tn τις εκπομπές CO_2, ενώ τελευταία κατατάσσονται τα σενάρια της διπλοκέλυφης κατασκευή με υψηλό και χαμηλό ρυθμό αερισμού.

6.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η παρούσα εργασία εντάσσεται σε πρωταρχικό στάδιο έρευνας στο πεδίο των διπλοκέλυφων κατασκευών στον Ελλαδικό χώρο. Ανοίγει δε νέους ορίζοντες μελλοντικών ερευνών που θα μπορούσαν να συμπεριλάβουν:

- Αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας των εναλλακτικών περιπτώσεων της διπλοκέλυφης κατασκευής που προτάθηκε ως μέτρο ενεργειακής βελτίωσης του κτηρίου.

- Αποδοτικότητα της διπλοκέλυφης πρόσοψης με σύστημα σκίασης στην οποία θα μελετηθεί η επίδρασή του στην οπτική άνεση των χρηστών και στην διανομή ηλιακού φωτός στο εσωτερικό του κτηρίου. Άξιο μελέτης επίσης θα ήταν και η επίδραση του συστήματος σκίασης στις καταναλώσεις φωτισμού του κτηρίου.

- Μελέτη διπλοκέλυφης πρόσοψης συνδυασμένη με άλλα στοιχεία, όπως φωτοβολταϊκά πλαίσια.

- Συνδυασμό κατασκευής διπλού κελύφους με παθητικές τεχνικές δροσισμού, όπως ο νυχτερινός αερισμός.

- Σχεδιασμό συστήματος αυτόματου ελέγχου σύμφωνα με τον οποίο θα ανοίγουν και θα κλείνουν τα εξωτερικά υαλοστάσια της διπλοκέλυφης κατασκευής για την βέλτιστη απόδοσή της. Οι ελεγχόμενες παράμετροι θα μπορούσαν να είναι η εξωτερική και η εσωτερική θερμοκρασία των εσωτερικών ζωνών, η παρουσία ατόμων καθώς και τα επίπεδα CO_2 που παράγονται από τα άτομα στο εσωτερικό των ζωνών, ως ένδειξη καλής ποιότητας αέρα στο χώρο.

Βιβλιογραφία

Alzoubi H. H, Al-Zoubi, A.H., (2010), Assessment of building façade performance in terms of daylighting and the associated energy consumption in architectural spaces: Vertical and horizontal shading devices for southern exposure facades, Vol. 51, No. 8, pp. 1592-1599, Energy Conversion and Management

Arnewde, <http://www.arnewde.com/architecture-design/architecture-design-of-los-her oes-building-by-murtinho-y-asociados-arquitectos/>, 6/9/2011

ASHRAE Fundamentals Handbook, (2005), Chapter 8, Thermal Comfort

ASHRAE Fundamentals Handbook, (2005), Chapter 30, Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations

ASHRAE Fundamentals Handbook, (2005), Chapter 27, Ventilation and Infiltration

ASHRAE Fundamentals Handbook, (2005), Chapter 31, Fenestration

ASHRAE HVAC Fundamentals Handbook, (2005), Chapter 32, Energy Estimating and Modeling Methods

ASHRAE Handbook — HVAC Systems and Equipment (SI), (2008), Chapter 5, In-Room Terminal Systems

ASHRAE Handbook — HVAC Systems and Equipment (SI), (2008), Chapter 4, Air Handling and Distribution

ASHRAE Handbook — HVAC Systems and Equipment (SI), (2008), Chapter 48, Unitary Air Conditioners and Heat Pumps

ASHRAE (2001), Ventilation for acceptable indoor air quality, ANSI/ASHRAE Standard 62-2001

Αξαρλή, Κ.Ν., (2009), Γενικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού, Εργαστήριο Οικοδομικής και Φυσικής των Κτηρίων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ. , Θεσσαλονίκη

Bahaj, AS., (2003), Photovoltaic roofing: issues of design and integration into buildings, Vol. 28, No. 14, pp. 2195–2204, Renewable Energy

Balaras, C.A, Droutsa, K., Argiriou, A.A., Asimakopoulos, D.N., (2000),Potential for energy conservation in apartment buildings, Vol. 31, No. 2, pp. 143-154, Energy and Buildings

Beausoleil-Morrison, I., Mitalas, G., (1997), BASESIMP: A Residential-Foundation Heat-Loss Algorithm for Incorporating into Whole-Building Energy-Analysis Programs, Building Simulation ’97, International Building Performance Simulation Association, Vol. 2, pp. 1-8, Prague Czech Republic

Beausoleil-Morrison, I., (1996), BASECALC A Software Tool for Modelling Residential - Foundation Heat Losses, Proc. pp. 117-126, Third Canadian Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Montréal Canada

Belgian Building Research Institute, (BBRI) (2004), Ventilated Double Facades - Classification and Illustration of Facade Concepts, Department of Building Physics, Indoor Climate and Building Services

BEST FACADE, Best Practice for Double Skin Facade, Intelligent Energy, Europe, <http://www.bestfacade.com/>, 3/9/2011

BREEAM, Building Research Establishment Environmental Assessment Method, What is BREEAM, <http://www.breeam.org/page.jsp?id=66>, 4/10/2011

Cardinale, N., Micucci, M., Ruggiero, F., (2003), Analysis of energy saving using natural ventilation in a traditional Italian building, Vol. 35, No. 2, pp. 153-159, Energy and Buildings

Chan, A.L.S., Chow, T.T., Fong, K.F., Lin, Z., (2009), Investigation on energy performance of double skin facade in Hong Kong, Vol. 41, No. 11, pp. 1135–42, Energy and Buildings

Cheung, C.K., Fuller, R.J., Luther, M.B., (2005), Energy-efficient envelope design for high-rise apartments, Vol. 37, No. 1, pp 37–48, Energy and Buildings

Ciampi, M., Leccese, F., Tuoni, G., (2003), Ventilated facades energy performance in summer cooling of buildings, Vol. 75, No. 6, pp. 491–502, Solar Energy

Dexter Moren Associates, <http://www.dextermoren.com/news/archive.html>, 6/9/2011

Diakaki, C., Grigoroudis, E., Kabelis, N., Kolokotsa, D., Kalaitzakis, K., Stavrakakis, G., (2010), A multi-objective decision model for the improvement of energy efficiency in buildings, Vol. 35, no. 12, pp. 5483-5496, Energy

Dimitroulopoulou, C., (2012), Ventilation in European dwellings: A review, Vol. 47, pp. 109-125, Building and Environment

Dubois, M-C., Blomsterberg, E., (2011), Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European, low energy office buildings: A literature review, Vol. 43, No. 10, pp. 2572-2582, Energy and Buildings

EnergyPlus, (2007), U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, Office of Building Technologies,<www.energyplus.gov>, 11/8/2011

EnergyPlus, (2010), Getting Started with EnergyPlus, Basic Concepts Manual - Essential Information You Need about Running EnergyPlus, U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, Office of Building Technologies, 12/10/2010, <www.energyplus.gov>, 11/8/2011

EnergyPlus, (2010), Input Output Reference, The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output, U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, Office of Building Technologies, 11/11/2010, <www.energyplus.gov>, 11/8/2011

EnergyPlus, (2010), Output Details and Examples, EnergyPlus Outputs (including error messages), Example Inputs and Data Set Files, U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, Office of Building Technologies, 11/10/2010, <www.energyplus.gov>, 11/8/2011

EnergyPlus, (2005), Guide for Interface Developers, Everything You Need to know about EnergyPlus Input and Output, U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, Office of Building Technologies, 21/ 4/2005, <www.energyplus.gov>, 11/8/2011

EPBD, (2002), Energy Performance Building Directive – Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the Energy Performance of Buildings

EPBD, (2010), Energy Performance Building Directive - Directive 2010/. . ./EU of the European Parliament and of the Council of on the Energy Performance of Buildings (recast), <http://register.consilium. europa.eu/pdf/en/10 /st05/st05386-ad01.en10.pdf>, 29/9/2011

EUROPA, Σύνοψη της νομοθεσίας της ΕΕ, <http://europa.eu/legislation_summaries/energy/european_energy_policy/l27067_el.htm>, 3/10/2011

Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, Οδηγία 2002/91/ΕΚ, 16 Δεκεμβρίου 2002, http://www.minenv.gr/4/47/00_4701/odigia2002-91-ek-enrgiaki-apodot-ktirion.pdf, 2/9/2011

Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Ν.3661/2008, 19 Μαΐου 2008, <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=yJy1TVyRqoo%3D>, 2/9/2011

Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Υ.Α. 5825/2010, 9 Απριλίου 2010, <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/TEE_HOME/D6-825 %20 KENAK-FEK%20407-B-2010.pdf>, 2/9/2011

Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Ν.3851/2010, 4 Ιουνίου 2010, <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=pnhppGnURds %3d & tabid=506>, 2/9/2011

Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Ν.3855/2010, 23 Ιουνίου 2010, <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=AxgQsUVAUjA%3 d&ta bid=506>, 2/9/2011

Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Αποφάσεις, 2 Σεπτεμβρίου 2010, <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=Wc9fuA8TF5w% 3d& tabid=508&language=el-GR>, 2/9/2011

Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Προεδρικό Διάταγμα 100/2010, 6 Οκτωβρίου 2010, <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?filetic ket=daOy23LodSY%3d&tabid=506&language=el-GR>, 2/9/2011

Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Υπουργική Απόφαση Δ6/Β/οικ.5825/2010, <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=aiS4 G yKxx04%3d&tabid=525&language=el-GR>, 2/9/2011

Facility Management, <http://www.fmmagazine.com.au/features/sydneys-first-major-double-skin-high-rise/>, 6/9/2011

Ghiaus, C., Allard, F., (2006), Potential for free-cooling by ventilation, Vol. 80, No. 4, pp. 402-413, Solar Energy

Gratia, E., De Herde, A., (2004), Optimal Operation of a South Double-Skin Facade, Vol. 36, No. 1, pp.41-60, Energy and Buildings

Gratia, E., De Herde, A., (2004), Natural cooling strategies efficiency in an office building with a double-skin facade, Vol. 36, No. 11, pp.1139-1152, Energy and Buildings

Gratia, E., De Herde, A., (2007), The most efficient position of shading devices in a double-skin facade, Vol. 39, No. 3, pp. 364-373, Energy and Buildings

Gratia, E., De Herde, A., (2007), Guidelines for improving natural daytime ventilation in an office building with a double-skin facade, Vol. 81, No. 4, pp. 435-448, Solar Energy

Hashemia, N., Fayazb, R., Sarsharc, M., (2010), Thermal Behavior of a Ventilated Double Skin Facade in Hot Arid Climate, Vol. 42, No. 10, pp. 1823–1832, Energy and Buildings

Heimrath, R., Hengsberger, H., Mach, T., Streicher, W., Waldner, R., Flamant, G., Loncour, X., Guarracino, G., Erhorn, H., Erhorn-Kluttig, H., Santamouris, M., Farou, I., Duarte, R., Blomsterberg, Å., Sjöberg, L., Blomquist, C., (2005), WP1 Report "State of the Art", Best Practice for Double Skin Façades, BESTFAÇADE

Interklima, Manufacturers of Air Conditioning Equipment, Συστήματα νερού και τερματικές μονάδες, <http://www.interklima.eu/downloads_gr/TECHNICAL _ GR/FcuLisFiles.asp>, 30/8/2011

International Energy Agency, IEA, (2009), Key World Energy Statistics 2009, Paris

Jacobs, P., Henderson, H., (2002), State-of-the-Art Review Whole Building, Building Envelope and HVAC Component and System Simulation and Design Tools, Air-Conditioning and Refrigeration Technology Institute, ARTI 21-CR

Jebaraj, S. Iniyan, S., (2006), A review of energy models, Vol. 10, No. 4, pp. 281 - 311, Renewable and Sustainable Energy Reviews

Ji J., Luo C., Sun W., Yu H., He W., Pei G., (2009), An improved approach for the application of Trombe wall system to building construction with selective thermo-insulation facades, Vol. 54, No. 11, pp. 1949–1956, Chinese Science Bulletin

Klein, S.A., Duffie, J.A., Beckman, W.A., (2007), TRNSYS - A Transient System Simulation Program User Manual - Version 16.1, University of Wisconsin, Madison, The Solar Energy Laboratory, US

Kolokotroni, M., Giannitsaris, I., Watkins, P., (2006), The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies, Vol. 80, No. 4, pp. 383–392, Solar Energy

Kolokotsa, D., Diakaki, C., Grigoroudis, E., Stavrakakis, G., Kalaitzakis, K.,(2009), Decision support methodologies on the energy efficiency and energy management in buildings, Vol. 3, No. 1, pp. 121- 146, Advances in Building Energy Research

Kreider, J.F, Curtiss, P.S., Rabl, A., (2002), Heating and Cooling of Buildings, Design for Efficiency, Second Edition, McGraw- Hill, New York

Kuznik, F., Virgone, J., (2009), Experimental assessment of a phase change material for wall building use, Vol. 86, No. 10, pp. 2038–2046, Applied Energy

Lee, E.S., Tavil, A., (2007), Energy and visual comfort performance of electrochromic windows with overhangs, Vol. 42, No. 6, pp. 2439–2440, Building and Environment

Manz, H., Brunner, S., Wullschleger, L., (2006), Triple vacuum glazing: heat transfer and basic mechanical design constraints, Vol. 80, No. 12, pp.1632–1642, Solar Energy

Μαρκάκη, Ζ., (2010), Βιοκλιματικός και οικολογικός σχεδιασμός κτηρίων, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης

Meteonorm, <http://meteonorm.com/home/>, 11/9/2011

Moeseke, G., Bruyere, I., De Herde, A., (2007), Impact of control rules on the efficiency of shading devices and free cooling for office buildings, Vol. 42, No. 2, pp. 784-793, Building and Environment

Neymark, J., Judkoff, R., (2008), International Energy Agency Building Energy Simulation Test and Diagnostic Method (IEA BESTEST) In-Depth Diagnostic Cases for Ground Coupled Heat Transfer Related to Slab-on-Grade Construction, Technical Report NREL/TP-550-43388

Niachou, A., Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A., Mihalakakou, G., (2001), Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance, Vol. 33, No. 7, pp. 719–729, Energy and Buildings

Nielsen, M.V., Svendsen,S., Jensen, L.B., (2011), Quantifying the potential of automated dynamic solar shading in office buildings through integrated simulations of energy and daylight, Vol. 85, No. 5, pp. 757-768, Solar Energy

Nikolaidis, Y., Pilavachi, P.A., Chletsis, A., (2009), Economic evaluation of energy saving measures in a common type of Greek building, Vol. 86, No. 12, pp. 2550- 2559, Applied Energy

Οδηγός προγράμματος "Εξοικονομώ", Παράρτημα 5.1, Έντυπο Ενεργειακής Επιθεώρησης Κτηρίου, <http://www.ypan.gr/docs/exoikonomw%20odhgos% 20 pararthmata.pdf>, 5/8/2011

Official Journal of the European Union, Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast), <http://eur-lex.europa.eu /LexUriServ/LexUriServ.do ?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:EN:PDF>, 2/9/2011

Palmero-Marrero, A. I., Oliveira, A.C., (2010), Effect of louver shading devices on building energy requirements, Vol. 87, No. 6, pp. 2040-2049, Applied Energy

Papaefthimiou, S., Syrrakou, E., Yianoulis, P., (2006), Energy performance assessment of an electrochromic window, Vol. 502, No. 1–2, pp. 257–264, Thin Solid Films

Poirazis, H., (2004), Double Skin Façades for Office Buildings – Literature Review, Division of Energy and Building Design, Department of Construction and Architecture, Lund Institute of Technology, Lund University

Saelens, D., Energy Performance Assessment of Single Storey Multiple-Skin Façades, Diss. KU Leuven, 2002

Sanjay, M., Prabha, C., (2008), Passive cooling techniques of buildings: past and present—a review. Vol. 4, No. 1, pp.37–46, ARISER

Santamouris, M., Sfakianaki, A., Pavlou, K., (2010), On the efficiency of night ventilation techniques applied to residential buildings, Vol. 42, No. 8, pp. 1309-1313, Energy and Buildings

Schiavon, S., Melikov, A.K., Sekhar, C., (2010), Energy analysis of the personalized ventilation system in hot and humid climates, Vol. 42, No. 5, pp. 699-707, Energy and Buildings

Schiefer, C., Heimrath, R., Hengsberger, H., Mach, T., Streicher, W., Santamouris, M., Farou, I., Erhorn, H., Erhorn-Kluttig, H., De Matos, M., Duarte, R., Blomsterberg, Å., (2008), Publishable Report, Best Practice for Double Skin Façades, BESTFAÇADE

Seppanen, O.A., Fisk, W.J., (2004), Summary of human responses to ventilation, Vol. 14, No. 7, pp. 102-118, Indoor Air

Shameri, M.A., Alghoul, M.A., Sopian, K., Fauzi, M., Zain, M., Elayeb, O., (2011), Perspectives of Double Skin Facade Systems in Buildings and Energy Saving, Vol. 15, No. 3, pp. 1468–1475, Renewable and Sustainable Energy Reviews

Sizzled Core, <http://www.sizzledcore.com/0-14-tower/>, 6/9/2011

Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1/2010, (2010), Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης, Ά έκδοση, Αθήνα

Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2/2010, (2010), Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερομονωτικής επάρκειας των κτηρίων, Ά έκδοση, Αθήνα

Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010, (2010), Κλιματικά δεδομένα Ελληνικών περιοχών, Ά έκδοση, Αθήνα

Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-4/2010, (2010), Οδηγίες και έντυπα ενεργειακών επιθεωρήσεων κτηρίων, λεβήτων και εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού, Ά έκδοση, Αθήνα

Καραχάλιου, Β., Τεχνικό Φυλλάδιο ALUMIL, Απρίλιος 2010, <http://www.aluminium.gr/pdf/04-10/090-095.pdf>, <http://www.aluminium.gr /pdf/04-10/084-088.pdf>, 4/9/2011

The MathWorks, Inc., (2007), Getting started with MATLAB. Natick, Mass., US

Tzempelikos, A., Athienitis, A.K., (2007), The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand, Vol. 81, No. 3, pp. 369-382, Solar Energy

USGBC, United States Green Building Council, What L.E.E.D. is, <http://www.usgbc.org/ DisplayPage.aspx?CMSPageID=1988>, 4/10/2011

Waldner, R., Flamant, G., Prieus, S., Erhorn-Kluttig, H., Farou, I., Duarte, R., Blomqvist, C., Kiossefidi, N., Geysels, D., Guarracino, G., Moujalled, B., (2007), WP5 Best Practice Guidelines, Best Practice for Double Skin Façades, BESTFAÇADE

Yang, B., Sekhara,C., Melikovb, A.K., (2010), Ceiling mounted personalized ventilation system in hot and humid climate—An energy analysis, Vol. 42, No. 12, pp. 2304–2308, Energy and Buildings

Φάρου, Ι., Το καινοτόμο σύστημα πρόσοψης διπλοκέλυφων κατασκευών, Δομικά υλικά, σελ. 18-21, <http://www2.buildinggreen.gr/wordpress/wp-content/uploads/2009/02/diplokelifes-kataskeves.pdf>, 4/9/2011

Zhiwen, L., Jianing, Z., Jun, G., Lixia, H., (2007), Estimating natural-ventilation potential considering both thermal comfort and IAQ issues, Vol. 42, No. 6, pp. 2289–2298, Building and Environment

Zhou, J., Chen, Y., (2010), A review on applying ventilated double-skin facade to buildings in hot-summer and cold-winter zone in China, Vol. 14. No. 4, pp. 1321–132, Renewable and Sustainable Energy Review

Παραρτήματα

Παράρτημα A - Ενεργειακή Επιθεώρηση Κτηρίου Επιστημών

Πίνακας Α.1: Επίπεδα φωτισμού ανά επίπεδο κτηρίου

Όροφος		Υπόγειο	Ισόγειο	1ος	2ος	3ος	4ος	Σύνολο
Είδος Λαμπτήρων	Φωτιστικό Φθορισμού Στεγανό 116W (2·58W)	23780						
	Φωτιστικό Φθορισμού Στεγανό 72W (2·36W)	5544	144	576	144	2880		
	Φωτιστικό Φθορισμού Ψευδοροφής με οπάλ κάλυμμα 72W (4·18W)		23616	12096	23616			
	Φωτιστικό Φθορισμού Ψευδοροφής με Περσίδες 72W (4·18W)		5256	2304	5256			
	Φωτιστικό Φθορισμού Ψευδοροφής με οπάλ κάλυμμα 36W (2·18W)		1872		1872			
	Φωτιστικό Φθορισμού Ψευδοροφής 52W με λαμπτήρες PLC (2·26W)		20540	15548	20488	2860	2808	
	Φωτιστικό Ψευδοροφής με λαμπτήρα Metal Halide 70W		840		3920			
	Φωτιστικό Φθορισμού Ψευδοροφής με Περσίδες 54W (3·18W)		6318	11394	6318	432	1296	

	Φωτιστικό Φθορισμού Ψευδοροφής με Πρισματικό Κάλυμμα 26W (2·13W)		104		104			
	Φωτιστικό Φθορισμού Οροφής με Περσίδες 36W (1·36W)		1728	5400	3312			
	Φωτιστικό Τοίχου με Λαμπτήρα Φθορισμού 26W		442	364	676	676	156	
	Επιτοίχιο Φωτιστικό με λαμπτήρα TC-L 18W		432					
	Κρεμαστό Φωτιστικό τύπου Καμπάνα με λαμπτήρα Metal Halide 150W				2400			
Φορτία (Watt)		**29324**	**61292**	**47682**	**68106**	**6848**	**4260**	**217512W 217.5kW**

Πίνακας Α.2: Εκτίμηση ενεργειακών καταναλώσεων από φωτιστικά σώματα

Επίπεδο κτηρίου	**Χώρος κτηρίου**	**Τύπος φωτιστικών σωμάτων**	**Ισχύς φωτιστικών σωμάτων (W)**	**Ισχύς σωμάτων ανά χώρο (kW)**	**Ώρες λειτουργίας ανά ημέρα**	**Μηνιαίες ενεργειακές καταναλώσεις (KWh/ μήνα)**	**Ετήσιες ενεργειακές καταναλώσεις (KWh/ έτος)**
Υπόγειο	Γενικοί χώροι	**Φωτιστικό Φθορισμού Στεγανό 116W**	116	23.78	2	951.2	11414.4
	Γενικοί χώροι	**Φωτιστικό Φθορισμού Στεγανό 72W**	72	5.544	2	221.76	2661.12
Ισόγειο	Γραφεία	**Φωτιστικό Φθορισμού Ψευδοροφής με Περσίδες 54W**	54	6.318	8	1010.88	12130.56

	Γραφεία	**Φωτιστικό Φθορισμού Ψευδοροφής με Περσίδες 72W**	72	23.616	8	3778.56	45342.72
	Χώροι κίνησης	**Φωτιστικό Φθορισμού Ψευδοροφής 52W με λαμπτήρες PLC**	52	8.216	15	2464.8	29577.6
	Χώροι κίνησης	**Φωτιστικό Φθορισμού Οροφής με Περσίδες 36W**	36	1.728	15	518.4	6220.8
	Αίθουσα διδασκαλίας	**Φωτιστικό Φθορισμού Ψευδοροφής 52W με λαμπτήρες PLC**	52	3.588	9	645.84	7750.08
	Σκάλες	**Φωτιστικό Τοίχου με Λαμπτήρα Φθορισμού 26W**	26	0.442	2	17.68	212.16
1ος όροφος	Γραφεία	**Φωτιστικό Φθορισμού Ψευδοροφής με Περσίδες 54W**	54	11.394	8	1823.04	21876.48
	Γραφεία	**Φωτιστικό Φθορισμού Ψευδοροφής με Περσίδες 72W**	72	12.096	8	1935.36	23224.32
	Χώροι κίνησης	**Φωτιστικό Φθορισμού Ψευδοροφής 52W με λαμπτήρες PLC**	52	15.548	15	4664.4	55972.8
	Χώροι κίνησης	**Φωτιστικό Φθορισμού Οροφής με Περσίδες 36W**	36	5.4	15	1620	19440
	Σκάλες	**Φωτιστικό Τοίχου με Λαμπτήρα Φθορισμού 26W**	26	0.364	2	14.56	174.72

2ος όροφος	Γραφεία	**Φωτιστικό Φθορισμού Ψευδοροφής με Περσίδες 54W**	54	6.318	8	1010.88	12130.56
	Γραφεία	**Φωτιστικό Φθορισμού Ψευδοροφής με Περσίδες 72W**	72	23.616	8	3778.56	45342.72
	Χώροι κίνησης	**Φωτιστικό Φθορισμού Ψευδοροφής 52W με λαμπτήρες PLC**	52	15.548	15	4664.4	55972.8
	Χώροι κίνησης	**Φωτιστικό Φθορισμού Οροφής με Περσίδες 36W**	36	3.312	15	993.6	11923.2
	Αίθουσα διδασκαλίας	**Φωτιστικό Φθορισμού Ψευδοροφής 52W με λαμπτήρες PLC**	52	3.588	9	645.84	7750.08
	Αίθουσα διδασκαλίας	**Φωτιστικό Φθορισμού Ψευδοροφής 52W με λαμπτήρες PLC**	52	3.588	9	645.84	7750.08
	Σκάλες	**Φωτιστικό Τοίχου με Λαμπτήρα Φθορισμού 26W**	26	0.364	2	14.56	174.72
3ος όροφος	Χώροι κίνησης	**Φωτιστικό Φθορισμού Στεγανό 72W**	72	2.88	8	460.8	5529.6
	Χώροι κίνησης	**Φωτιστικό Φθορισμού Ψευδοροφής 52W με λαμπτήρες PLC**	52	2.86	15	858	10296

	Γραφεία	**Φωτιστικό Φθορισμού Ψευδοροφής με Περσίδες 54W**	54	0.432	8	69.12	829.44
	Σκάλες	**Φωτιστικό Τοίχου με Λαμπτήρα Φθορισμού 26W**	26	0.364	2	14.56	174.72
	Χώροι κίνησης	**Φωτιστικό Φθορισμού Ψευδοροφής 52W με λαμπτήρες PLC**	52	2.808	15	842.4	10108.8
4ος όροφος	Γραφεία	**Φωτιστικό Φθορισμού Ψευδοροφής με Περσίδες 54W**	54	1.296	8	207.36	2488.32
	Σκάλες	**Φωτιστικό Τοίχου με Λαμπτήρα Φθορισμού 26W**	26	0.156	2	6.24	74.88
Σύνολο	**406543kWh/έτος 22.4 kWh/m^2**						

Παράρτημα Β - Energy Plus

Αρχεία εισόδου του Energy Plus:

Αρχείο IDD: Το αρχείο IDD (Input Data Dictionary) είναι ένα αρχείο κειμένου ASCII το οποίο περιέχει όλα τα ενδεχόμενα EnergyPlus αντικείμενα καθώς και όλα τα δεδομένα που απαιτούνται για το κάθε αντικείμενο.

Αρχείο IDF: Το αρχείο IDF (Input Data File) είναι ένα αρχείο κειμένου ASCII το οποίο περιέχει όλα τα απαραίτητα δεδομένα που περιγράφουν το κτήριο καθώς και το σύστημα θέρμανσης - ψύξης του κτηρίου που θα προσομοιωθεί. Αποτελεί ίσως το πιο σημαντικό αρχείο καθώς περιέχει τα πιο χρήσιμα στοιχεία που περιγράφουν την εκάστοτε προσομοίωση.

Αρχείο IMF: Το αρχείο IMF (Input Macro File) είναι ένα αρχείο κειμένου ASCII το οποίο περιέχει όλα τα απαραίτητα δεδομένα που περιγράφουν το κτήριο καθώς και το σύστημα θέρμανσης - ψύξης του κτηρίου που θα προσομοιωθεί σε μορφή μακροεντολών.

Αρχείο INI: Το αρχείο INI (energyplus INItialization file) είναι ένα προαιρετικό αρχείο κειμένου ASCII το οποίο επιτρέπει στο χρήστη να καθορίσει το σημείο όπου επιθυμεί να εγκατασταθεί το λογισμικό.

Αρχείο EPW: Το αρχείο EPW (EnergyPlus Weather file) είναι ένα αρχείο κειμένου ASCII το οποίο περιέχει τα δεδομένα καιρού που απαιτούνται για την προσομοίωση σε βήματα ωριαία ή και υπο-ωριαία.

Αρχεία εξόδου του Energy Plus:

Αρχείο ERR: Το αρχείο .err περιέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τα λάθη που προέκυψαν κατά τη διαδικασία της μοντελοποίησης. Αποτελεί ίσως το πιο σημαντικό αρχείο που αποδεικνύει την ορθότητα της προσομοίωσης. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες λαθών που μπορούν να προκύψουν ανάλογα με την σοβαρότητα που έχουν και κατ' επέκταση την αμεσότητα διόρθωσής του: μοιραίο (fatal), σοβαρό (severe) και προειδοποίηση (warning).

Αρχείο .CSV: Μετά την επιτυχή εκτέλεση του προγράμματος, το Energy Plus παράγει αυτόματα αρχεία με κατάληξη .eso, .mtr και .csv σε αρχεία με στήλες .csv (comma separated variable). Τα αρχεία αυτά μπορούν να διαβαστούν από προγράμματα υπολογιστικών φύλλων όπως το Excel.

Αρχείο ESO: Το αρχείο .eso (EnergyPlus Standard Output) περιέχει τα χρονικά μεταβαλλόμενα αποτελέσματα της προσομοίωσης που επέλεξε ο χρήστης.

Αρχείο MTR: Το αρχείο .mtr (EnergyPlus Meter Output) περιέχει τα χρονικά μεταβαλλόμενα αποτελέσματα της προσομοίωσης που επίσης επέλεξε ο χρήστης, από την κατηγορία Report. Η διαφορά αυτού του αρχείου με το αρχείο .eso είναι ότι τα αποτελέσματά του αρχείου .mtr αναφέρονται στην μεταβλητή της ενεργειακής κατανάλωσης (π.χ. ενεργειακή κατανάλωση συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού, ηλεκτροφωτισμού, ηλεκτρικών συσκευών κλπ) και σε παράγοντες περιβαλλοντικών επιπτώσεων (π.χ. COx, NOx κλπ).

Αρχείο RDD: Το αρχείο .rdd (Report (variable) Data Dictionary) περιέχει μία λίστα με όλα τα διαθέσιμα είδη αποτελεσμάτων τα οποία θα μπορούσε ο χρήστης να επιλέξει ώστε να εμφανισθούν στο .eso αρχείο.

Αρχείο MDD: Αντίστοιχα με το αρχείο .rdd, έτσι και το .mdd (Report (meter) Data Dictionary) περιέχει μία λίστα με όλα τα διαθέσιμα είδη αποτελεσμάτων.

Αρχείο MTD: Το αρχείο .mtd δείχνει ποιες μεταβλητές αντιστοιχούν σε κάποιο συγκεκριμένο είδος μεταβλητών καθώς και ποιες μεταβλητές περιέχονται σε ένα είδος μεταβλητών. Οι μεταβλητές αυτές αφορούν την ενεργειακή κατανάλωση επομένως το αρχείο αυτό σχετίζεται με το αρχείο .mtr.

Αρχείο AUDIT: Το αρχείο .audit αποτελεί ένα αρχείο που περιέχει τα λάθη από σφάλματα σύνταξης δεδομένων εισόδου, όπως το .err αρχείο με την διαφορά ότι το τελευταίο περιέχει σφάλματα κατά την διάρκεια της προσομοίωσης.

Αρχείο BND: Το αρχείο .bnd περιέχει πληροφορίες αναφορικά με τους κόμβους και τις διακλαδώσεις ενός συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού. Από το αρχείο αυτό ο χρήστης μπορεί να διαπιστώσει την ορθότητα της συνδεσμολογίας ενός συστήματος θέρμανσης - ψύξης.

Αρχείο DBG: Το αρχείο .dbg μπορεί να χρησιμοποιηθεί από κάποιον κατασκευαστή προγράμματος κατά τη διάρκεια εντοπισμού σφαλμάτων ("debugging") σε κάποιο τμήμα κώδικά που προσέθεσε στο λογισμικό EnergyPlus. Το αρχείο αυτό μπορεί να σταλεί στην ομάδα τεχνικής υποστήριξης του EnergyPlus.

Αρχείο DXF: Το αρχείο αυτό περιέχει όλες τις επιφάνειες του κτηρίου που ορίστηκαν στο IDF αρχείο και αποτελεί έναν τρόπο αναπαράστασης της γεωμετρία του κτηρίου που μοντελοποιήθηκε μέσω του λογισμικού EnergyPlus.

Αρχείο EIO: Το αρχείο .eio περιέχει αναφορές καθώς και προαιρετικά report στοιχεία και μπορούν να διαβαστούν από λογιστικά φύλλα για καλύτερη μορφοποίηση.

Αρχείο EPMIDF: Το αρχείο .epmidf περιέχει αποτελέσματα από την επεξεργασία μακροεντολών που εισήγαγε ο χρήστης και συγκεκριμένα δεδομένα εισαγωγής από το .idf αρχείο.

Αρχείο EPMDET: Το αρχείο .epmdet περιέχει αποτελέσματα από την επεξεργασία μακροεντολών όπως το .epmidf αρχείο, με την διαφορά ότι αυτό περιέχει λεπτομέρειες από την διαδικασία ελέγχου του κτηρίου.

Αρχείο LOG: Το αρχείο .log συνδέει όλα τα στοιχεία που εμφανίζονται στο αρχείο εξόδου μίας εντολής από την εκτέλεσή της.

Αρχείο SLN: Το αρχείο .sln περιέχει πληροφορίες σχετικά με τις επιφάνειες του κτηρίου που μοντελοποιήθηκε, ένα αρχείο παρόμοιο με το .dxf αλλά λιγότερο μορφοποιημένο καθώς παρουσιάζει γραμμές και επιφάνειες του κτηρίου. Για την εμφάνισή του ο χρήστης πρέπει να δώσει εντολή από την κατηγορία Report.

Αρχείο SSZ και αρχείο ZSZ: Τα αρχεία αυτά είναι παρόμοια και περιέχουν αποτελέσματα που αφορούν το αντικείμενο Sizing:System και ανοίγουν ως φύλλα υπολογισμού.

Αρχείο MAP : Το αρχείο .map περιέχει αναπαριστά αποτελέσματα που αφορούν την κατηγορία φυσικού φωτισμού (Daylighting).

Αρχείο TABLE: Το αρχείο .table περιέχει αποτελέσματα από πίνακες και οικονομικά αιτήματα που επέλεξε ο χρήστης.

Αρχείο SCI: Το αρχείο .sci περιέχει πληροφορίες σχετικές με το κόστος.

Αρχείο SVG: Ανοίγει με τη βοήθεια μίας εφαρμογής και μέσω αυτής είναι δυνατό ο χρήστης να δει τη διάταξη του συστήματος θέρμανσης-ψύξης που μοντελοποιήθηκε από το λογισμικό EnergyPlus.

Αρχείο Delight IN: Το αρχείο .delightin περιγράφει τα δεδομένα εισόδου της κατηγορίας Daylighting.

Αρχείο Delight OUT: Το αρχείο .delightiout περιέχει αποτελέσματα της προσομοίωσης που σχετίζονται με συγκεκριμένα αντικείμενα της κατηγορίας Daylighting.

Αρχείο Delight DFDMP: Το αρχείο .delightdfdmp περιέχει προειδοποιητικά μηνύματα τα οποία σχετίζονται με συγκεκριμένα δεδομένα της κατηγορίας Daylighting ή και μηνύματα σχετικά με σφάλματα τα οποία εντοπίστηκαν κατά την επεξεργασία συγκεκριμένων δεδομένων της κατηγορίας Daylighting. Συνήθως αυτό το αρχείο θα πρέπει να είναι άδειο.

Αρχείο .EXPIDF: Το αρχείο .expidf περιέχει αποτελέσματα τα οποία σχετίζονται με την κατηγορία Compact HVAC.

Αρχείο .VCpErr: Το αρχείο .VCpErr περιγράφει τα τυχόν σφάλματα τα οποία προέκυψαν κατά τη διαδικασία μετάβασης ενός αρχείου IDF από παλαιότερη έκδοση στην τρέχουσα που χρησιμοποιεί ο χρήστης (EnergyPlus, Getting Started and Overview, Input Output Reference, Output Details and Examples, Guide for Interface Developers, 2010).